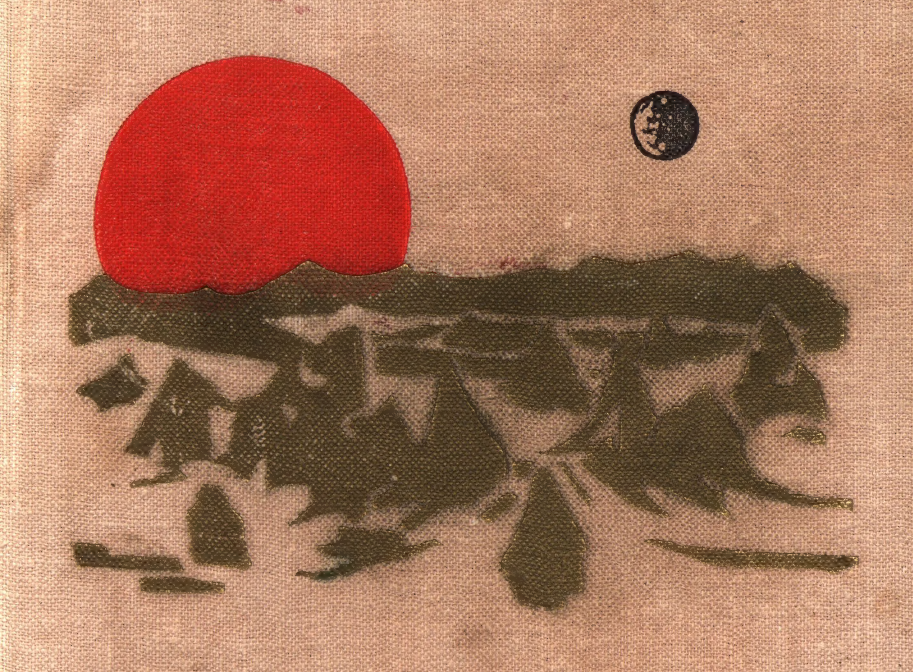
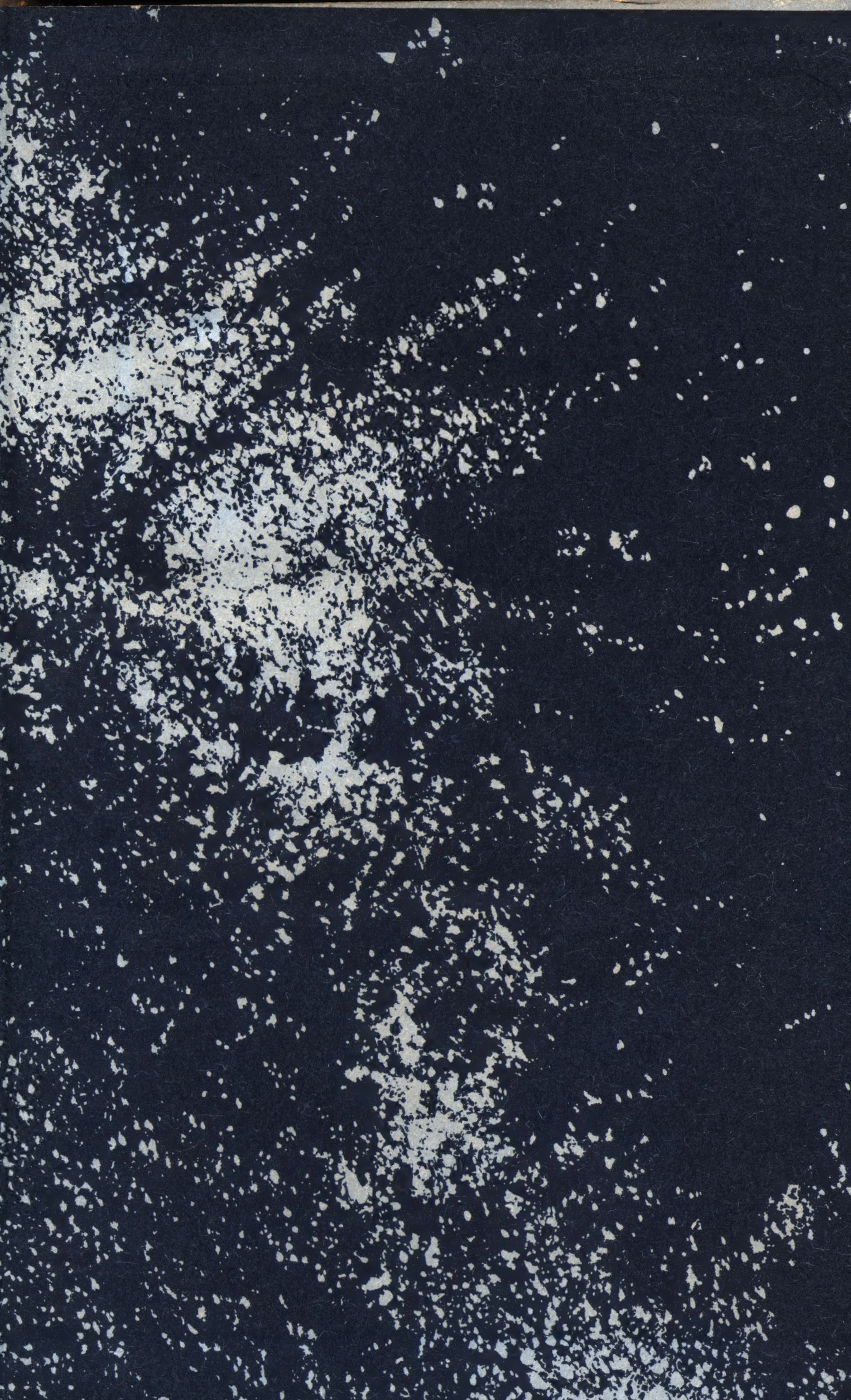
Б.А. ВОРОНЦОВ – ВЕЛЬЯМИНОВ

# ОЧЕРКИ О ВСЕЛЕННОЙ





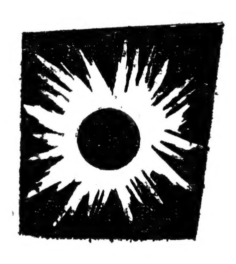


БИБЛИОТЕЧНАЯ СЕРИЯ

Б. А. ВОРОНЦОВ - ВЕЛЬЯМИНОВ

# ОЧЕРКИ О ВСЕЛЕННОЙ

ИЗДАНИЕ СЕДЬМОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ





ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1976

52
В 75
УДК 523.1

В $\frac{20605-033}{053(02)-76}$ 175-76

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## *ОТ АВТОРА*

Настоящая книга знакомит читателей с современным состоянием астрономических знаний, хотя и не претендует на то, чтобы равномерно охватить все разделы науки о Вселенной.

Автор поставил себе целью дать научно-популярную книгу в несколько новом жанре. Попытка дать отдых читателю и разрядить временами напряжение ума не только наглядным сравнением, но и шуткой, оправдала себя и привлекла к чтению материала, имеющего большое мировоззренческое значение, новые категории читателей.

В «Очерках о Вселенной» использован материал и опыт нашей книги «Вселенная», встретившей живые отклики читателей в СССР и в других социалистических странах.

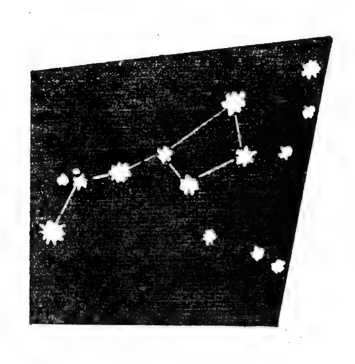
По-прежнему автор стремился везде сохранить доходчивость и живость изложения.

Седьмое издание переработано и дополнено сведениями о множестве новейших достижений науки.

С настоящим изданием исполняется 30-летие со «дня рождения» этой книги. Сравнивая последующие издания книги, перерабатывавшиеся и дополнявшиеся, можно проследить всю историю бурного развития науки о Вселенной за последние 30 лет почти во всех ее разделах.

Автор с грустью сообщает читателям, что А. А. Коваленков, его друг, поэт и широко известный автор песен, украсивший стихами эту книгу, в 1973 г. скончался.

*Б. А. Воронцов-Вельяминов*



# ЗВЕЗДНОЕ НЕБО (ВВЕДЕНИЕ 1)

## НЕБЕСНЫЙ ЗВЕРИНЕЦ

Звери на небе — наследие старины — частый повод для шуток над современными астрономами, которые здесь не при чем. Кто не слышал о Большой и Малой Медведицах на небе? В старину высокопоставленные столичные «остряки» посылали из Петербурга справляться на Пулковскую обсерваторию — «не забыли ли астрономы накормить на ночь Большую Медведицу»...

Тысячи лет назад фантазия древних населила небо мифическими существами и зверями, из которых многих нет ни в одном зоопарке на Земле. В небесном зверинце, кроме Жирафа, Льва, Лисички, Лебедя, Орла и многих других, есть Единорог, Дракон, Гидра и т. п. По традиции эти названия сохранились и по настоящее время, постоянно упоминаясь в научной литературе и облегчая сравнение древних описаний и наблюдений неба с современными. Ухо астронома-специалиста так привыкло к ним, что совершенно не замечает, каким диссонансом звучат эти названия среди терминов современной науки: интегралов, спектрографов, миллиграммов и термоэлементов. Только южное небо, изученное уже за последние столетия, было «населено» Воздушным Насосом, Микроскопом, Телескопом и другими более современными нам предметами.

Много красочных легенд древности, Греции и Рима нашло свое отражение на небе. Вот одна из них. Легенда эта длинная, мы расскажем о ней коротко.

«Жил-был царь, звали царя Птолемей. Была у него жена, звали ее Вероника. Пошел царь воевать. Стало



Рис. 1. Созвездие Ориона, как оно видно на небе.

царю туго. Взволновалась царица, помолилась богине Венере. Обещала царица на алтарь богине волосы свои в дар принести. Пусть царь победит,— принесет царица жертву. Принесли гонцы о победе весть, и легла царская коса на алтарь храма. Не умели тогда париков делать,— осталась царица без кос. Вернулся с победой царь. Смотрит — царица стрижена, не пришел в восторг, опечалился. А астроном царя Коммон говорит ему: «Не грусти, царь, не печалься! Посмотри на небо, видишь звезды мелкие в небе темном? Это волосы Вероники твоей в небе светятся».

Умолчала легенда о том, утешился ли царь этой вестью, но поведала нам, как астроном Коммон «открыл» созвездие Волос Вероники. Странным кажется нам сейчас такое созвездие, странным кажется вознесение «волос» на небо, а иные женщины наших

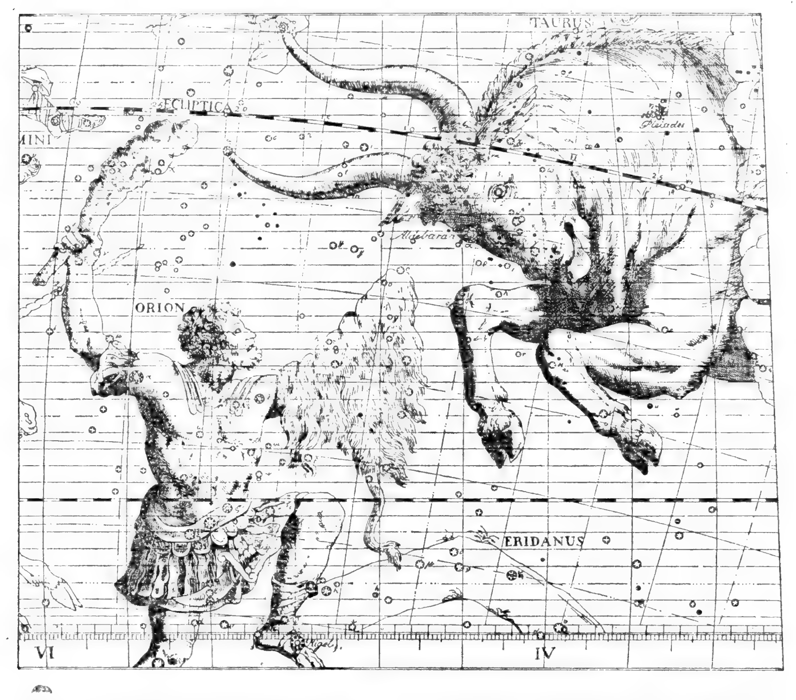



**Рис. 2. Фигуры созвездий Ориона и Тельца в старинном звездном атласе.**

дней с недоумением спросят: что за жертва — ходить без кос!..— так переменился с веками взгляд на неприкосновенность волос.

А вот и другая легенда о звездах, известная в разных вариантах.

Мы расскажем о ней в другом стиле, на другой вкус.

«На берегу знойного синего моря раскинулась древняя скалистая страна — Эфиопия. Был в ней царем давным-давно эфиопский владыка Цефей. У Цефея была жена, звали ее Кассиопея. И у царя с




Рис. 3. «Небесный зверинец» — старинная карта звездного неба с фигурами созвездий.

царицей родилась единственная дочь, прекрасная царевна Андромеда. Когда подросла она, не было эфиопок прекраснее, чем царевна.

Возгордилась Кассиопея красотой своей дочери, стала хвастать перед всем миром и сравнила ее красоту с красотой богинь.

Тут прогневались боги и наслали они на Эфиопию страшное бедствие: каждый день выходило из моря страшное чудовище — Кит — и грозилось разорить страну.

Чтобы умилостивить ненасытного Кита, каждый день отдавали ему на съедение молодую девушку,— так требовало чудовище. Скоро не осталось уже девушек в бедной стране, и взмолился Цефей к богам и просил отвести от страны страшную кару.

— Просьба твоя будет уважена,— отвечали Цефею боги,— но отдай ты Киту в жертву дочь свою единственную и любимую, брось ему на съедение Андромеду — прекрасную царевну.

Долго рыдал Цефей, долго рыдала царица, но пришлось им расстаться с дочерью.

Приковали черную царевну цепями к белой известковой скале у моря. С грохотом разбивались волны о высокий утес, и жемчужная пена ласково лизала ноги обреченной жертвы.

Вот запенилось широкое море, поднялись водовороты в нем, и из пучины вынырнул страшный Кит. Жадно разинута его пасть. Пламя сверкало из маленьких свирепых глаз, и из ушей валил серый дым. А чешуйчатый хвост кольцами вился по воде, яростно щелкая по волнам.

Вот заметило чудовище свою новую жертву и еще ярче запылали его глаза. Ближе и ближе подплывало оно, рассекая морские волны.

Между тем среди белых громад облаков несся на крылатых сандалиях отважный герой Персей. Он недавно срубил своим волшебным мечом голову страшной Медузе, из крови которой взвился крылатый конь — Пегас. Взор Медузы обращал в камень всякого, кто осмеливался взглянуть ей в глаза. Но Персей перехитрил Медузу и сражался с ней, глядя не на саму Медузу, а на отражение ее в своем полированном блестящем щите.

И теперь Персей радостно летел. При нем была отрубленная голова Медузы, на которой вместо волос кольцами извивались отвратительные змеи. Вдруг видит Персей, что внизу, на морском берегу, к белой

скале прикована цепями красавица, а к ней несется страшное чудовище.

Бросился Персей тотчас же в бой и направил на Кита взор головы Медузы. Окаменел Кит и превратился в скалистый остров, омываемый синим морем.

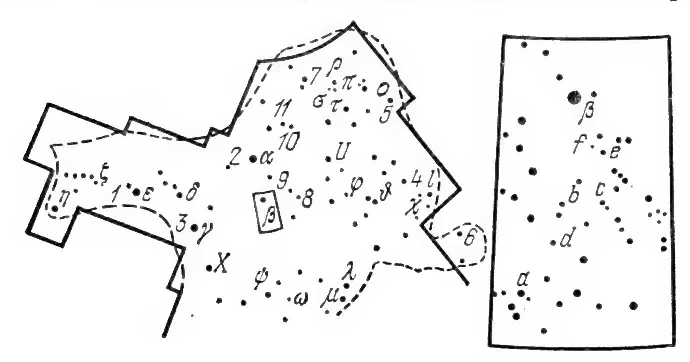


Рис. 4. Карта звездного неба с границами созвездия Большой Медведицы (пунктир — старые границы, сплошная линия — современные). Справа в крупном масштабе показана со слабыми звездами область, отмеченная слева прямоугольником.

А Персей расковал Андромеду и отвел во дворец, где на радостях царь отдал ему Андромеду в жены. И тогда умиленные боги поместили на небо образы всех участников этих событий!»

Вы найдете на небе, по соседству друг с другом, созвездия Цефея, Кассиопеи, Андромеды, Кита и Персея с Пегасом. А одну из звезд в созвездии Персея долго называли Головой Медузы...

В древности под созвездием понимали группу ярких звезд, характерных своим взаимным расположением, составляющих какую-либо фигуру, если эти звезды мысленно соединить прямыми линиями. Однако почти никогда мы не видим в этих характерных фигурах сходства с предметами, именами которых древние астрономы эти фигуры символически назвали.

Если говорить о созвездиях как о «фигурах», то Большая Медведица и Малая Медведица сходны друг с другом, но из-за своих длинных хвостов не сходны ни с медведицей, ни с медведем, а напоминают

скорее всего лишь ковш или кастрюлю. Длинный хвост вообразили себе у них южане, давшие созвездиям эти названия и знавшие о медведях лишь понаслышке.

Сейчас под созвездием понимают целую область *на небе* внутри определенных границ. К созвездию

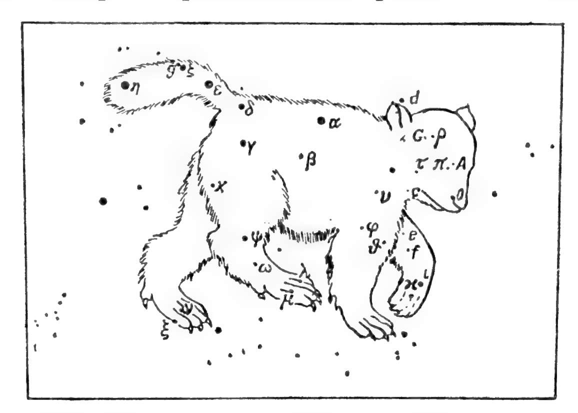


Рис. 5. Изображение созвездия Большой Медведицы в старинном атласе.

относят все звезды, которые видны в этой области неба. Однако в *пространстве*, если для простоты границы созвездия принять за круг, созвездие включает все звезды, находящиеся внутри конуса с вершиной в нашем глазу и с образующими его, проведенными к границам созвездия. Некоторые из звезд данного созвездия в пространстве дальше от своих соседок по созвездию, чем от звезд, видимых нами в совсем противоположной стороне неба. Выделение созвездий помогает нам ориентироваться на небе.

## ЯРКОСТЬ И ИМЕНА ЗВЕЗД

Писатель Ив. Попов в романе «На исходе ночи» *) пишет:

«— Видишь, Павел, звезду... вон там, над самой трубой... яркая... Не знаешь, как она называется?

*) В журнале «Октябрь», май 1950 г., стр. 41.

— Не знаю.

— Пусть это будет моя звезда и твоя, наша с тобой звезда... эта звезда на меня смотрела... Назовем ее Питацея. Не знаешь, что такое Питацея? Я тоже не знаю... это я, кажется, сама выдумала, а может быть где-нибудь слышала... Питацея...»

Но имена наиболее ярким звездам люди уже давали тысячи лет назад. Их давали римляне, греки и арабы. У ярких звезд эти имена сохранились до наших дней: Сириус, Альдебаран, Вега, Антарес и другие. Более слабые звезды называют буквами греческого алфавита, примерно в порядке уменьшения их блеска, в каждом созвездии отдельно. Так, Сириус есть $\alpha$ Большого Пса, Вега есть $\alpha$ Лиры, Кастор есть $\alpha$ Близнецов, а Поллукс $\beta$ Близнецов и т. д. Еще более слабые звезды обозначаются только номером в каталоге, в который они занесены, либо их координатами на небе и указанием блеска.

Александрийский ученый Гиппарх два тысячелетия назад рассортировал звезды по блеску на шесть групп, на шесть звездных величин. Самые яркие (в числе около 20) он назвал звездами первой величины, более слабые — звездами второй величины, а те, которые едва видимы невооруженным глазом,— звездами шестой величины. Чем блеск звезды больше, тем ее звездная величина меньше.

Удивляться такому разделению, т. е. сортировке звезд по их блеску, нечего. Никого ведь не удивляет, что наиболее крупные яблоки относят к первому сорту, менее крупные — ко второму и так далее.

Предложение Гиппарха оказалось удобным, его сохранили до наших дней и уточнили. Для звезд промежуточного блеска ввели дробные величины, например 2,15 или 3,47. Их обозначают $2^m,15$, $3^m,47$ и т. д. Когда некоторую звезду взяли, скажем, за образец звезды первой величины, то звезды в $2^1/_2$ раза более яркие назвали звездами нулевой величины, а еще в $2^1/_2$ раза более яркие — звездами минус первой величины (так как блеск 20 ярчайших звезд Гиппарха оказался не строго одинаковым).

По сравнению со звездами первой величины звезды шестой величины в 100 раз слабее. Видимые в бинокль звезды седьмой и восьмой величины соответственно в $2^1/_2$ и в 6 раз еще слабее. Самые слабые звезды, какие только можно отчетливо видеть на фотографии, полученной с самым мощным современным телескопом, в триста миллионов раз слабее звезд первой величины, между тем их видимая звездная величина выражается всего лишь числом 22.

## АДРЕСА СВЕТИЛ НА НЕБЕ

Когда вы отправляетесь прогуляться по незнакомому городу, вам будет полезен его план. Разыскивая в городе знакомого, вы нуждаетесь в его адресе. Когда вы отправитесь блуждать по звездному небу, вам будет полезна карта — план звездного неба. Разыскивая на небе светило, вы нуждаетесь в его адресе на небе. Адрес светила — это его координаты на небе. Мы говорим пока о *видимом* месте светила на небе, а не о его положении в пространстве. Для наблюдателя небо кажется шаром или сферой, на которую он смотрит изнутри и в центре которой находится он сам. Половина этой сферы для него скрыта под горизонтом. Все небесные светила кажутся одинаково далекими от нас, т. е. как бы находящимися на поверхности этой сферы. На самом деле это, конечно, не так, но считая все светила находящимися на поверхности небесной сферы (радиус которой кажется нам неопределенным), мы можем с удобством определять *видимые* положения (коорди-

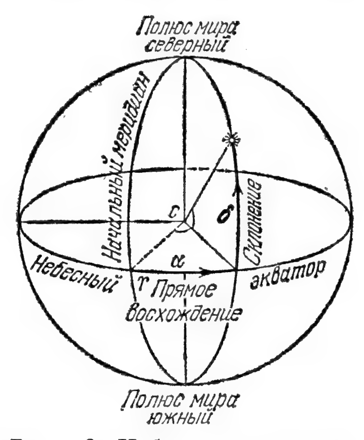



Рис. 6. Небесные координаты — прямое восхождение и склонение — заменяют адрес светила на небе.

наты) светил. Зная их, мы легко найдем эти светила на небе. Найдя на небе светило, мы можем тогда отметить его местонахождение на звездной карте.

Если мы, находясь в центре воображаемой небесной сферы, мысленно проведем через свой глаз плоскость, параллельную плоскости земного экватора, то она пересечет небесную сферу по большому кругу — небесному экватору.

Проведем мысленно через свой глаз линию, параллельную оси вращения Земли,— она пересечет небесную сферу в точках, называемых полюсами мира. Северный из этих двух полюсов случайно приходится вблизи довольно яркой звезды, называемой Полярной. Ее, как известно, легко найти по группе семи ярких звезд, расположенных в форме ковша и называемых созвездием Большой Медведицы.

Как на земном шаре, так и на небесной сфере положение любой точки можно определить двумя координатами. На земном шаре эти координаты — географическая широта и географическая долгота. Широта отсчитывается в градусах от земного экватора по дуге меридиана в сторону северного или южного полюса — от экватора до данной точки. Долгота отсчитывается вдоль экватора от меридиана, принятого за начальный, до меридиана, проходящего через данную точку.

Вместо географической широты для небесной сферы пользуются *склонением*. Склонение отсчитывается в градусах, подобно широте, от небесного экватора по направлению к полюсам мира.

Вместо географической долготы на небесной сфере пользуются *прямым восхождением*, определяя его как угол между некоторым начальным небесным меридианом и меридианом, проведенным через данную точку неба.

Склонение и прямое восхождение светила — это его координаты, его адрес на небе. Адресный стол звезд — это каталог, содержащий их небесные координаты. Жителей на звездном небе так много, что для большинства из них не хватает имен. В адресном столе звезд зачастую имеется один лишь адрес без

имени жителя. В этом случае звезда-«небожитель» значится просто под своим номером по каталогу.

Подавляющее большинство «небожителей» оседло, т. е. постоянно «проживает» по одному и тому же адресу, но есть блуждающие светила — небесные бродяги. Это — планеты и кометы. «Планета» в переводе с греческого и означает «блуждающая». Выяснилось, что блуждают по небу те светила, которые

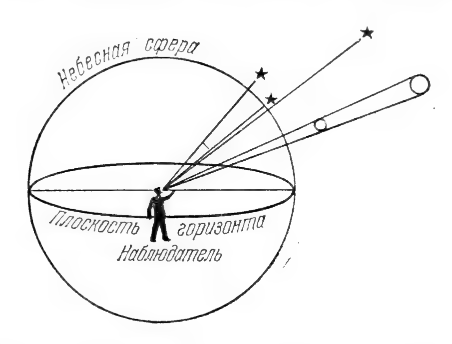


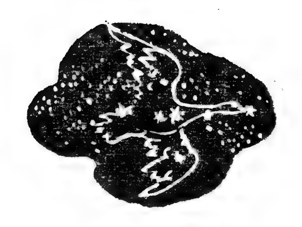

**Рис. 7. Угловые расстояния светил на небе и их угловые размеры не соответствуют их расстояниям друг от друга в пространстве и их действительным размерам.**

движутся в Солнечной системе, т. е. сравнительно близко от Земли. Их видимое положение на небе меняется как вследствие их собственного движения в пространстве, так и вследствие движения нас — зрителей — вместе с Землей. Остальные светила также оказались не неподвижными, но их движения едва заметны вследствие их удаленности от нас. Так, на огороде вы хорошо заметите изменения в положении тех, кто трудится на грядках по соседству от вас, а какой-нибудь далекий огородник виден все время в одной и той же стороне.

Расстояния между светилами на небесной сфере, как расстояния между точками на шаре, выражаются в градусах. Эти угловые расстояния не надо смешивать с расстояниями между теми же светилами в *пространстве*. На небе две звезды могут быть видны близко друг к другу, а в пространстве одна из них

может быть от нас во много раз дальше, чем другая. Видимый, угловой диаметр светил — это угол, под которым виден с Земли их истинный, т. е. линейный, диаметр. Например, угловые диаметры Луны и Солнца почти одинаковы. Они составляют около $^1/_2{}^\circ$. Луна маленькая, но близка к нам, диаметр же Солнца громаден, но Солнце от нас далеко. Полезно помнить, что отрезок окружности, равный приблизительно $^1/_{57}$ доле радиуса, виден из центра под углом в $1^\circ$, а отрезок ее, составляющий 206265-ю долю радиуса, виден под углом в $1''$. Это позволяет, зная угловой диаметр светила и расстояние до него, вычислить его линейный диаметр.

Например, если с расстояния в 150 000 000 *км* Солнце имеет видимый диаметр $^1/_2{}^\circ$, то его линейный диаметр составляет $\frac{150\,000\,000}{114}$ *км*, т. е. около $1^1/_2$ млн. *км*.





# ГЛАЗА, УШИ И РУКИ АСТРОНОМОВ (ВВЕДЕНИЕ 2)

## ПРОГУЛКА ПО ОБСЕРВАТОРИИ

Бывает так, что, узнав о новейших открытиях астрономов, иной скептик покачает недоверчиво головой и скажет: «Да кто это видел, кто это слышал, кто это мерил, кто же это трогал?!» И потому прежде всего разрешите рассказать о том, чем астрономы видят, чем они мерят, чем они «трогают» небесные светила, т. е. какие у них «глаза», «уши» и «руки».

Глаза астрономов — карие и голубые, веселые и задумчивые — это обычные глаза людей, но в наши дни астрономы мало что смогут дать для науки, если они не воспользуются помощью стеклянного глаза телескопа.

Однако, когда на иную обсерваторию приходят люди и желают посмотреть в телескоп или хотя бы посмотреть на то, как астрономы смотрят в телескоп, то их нередко постигает разочарование. Им говорят, что астрономы здесь в телескоп ничего не рассматривают, что здесь нет ни одного телескопа, в который смотрели бы просто глазом.

Глаз человека теперь обычно заменяет фотопластинка и, может быть, правильнее было бы назвать глазом астронома именно ее. Но не только она одна воспринимает свет далеких светил. Есть много других точных и чувствительных приборов, которые лучше, чем глаз, определяют блеск и цвет небесных

светил, лучше, чем рука, ощущают теплоту, испускаемую небесным телом. Они, как уши, «слышат» космические «шумы» — радиоизлучение и другие невидимые глазом излучения светил. О них мы прочитаем немного дальше. Все эти «инструментальные ощущения» небесных светил можно было бы назвать «шестым чувством» астрономов.

Пройдемся по большой астрофизической обсерватории, предназначенной преимущественно для изучения физической природы светил, и познакомимся с тем, что там можно увидеть.

## ОБЩИЙ ОСМОТР ОБСЕРВАТОРИИ

В темную морозную ночь звездное небо блещет огоньками, и их мерцание приветливо приглашает к изучению светил. Но астроном, проводящий вас по территории, недовольно морщится: «Опять сильное мерцание,— говорит он,— значит, воздух неспокоен, и потому изображения светил в телескопе колеблются и дрожат, рассматривать их будет трудно». На дворе обсерватории темно, и астрономам всех стран случалось в прошлом иногда слышать, как иной посетитель, может быть, не чуждый любительской портретной фотосъемке, сочувственно вопрошал: «Скажите, наверно, вам приходится фотографировать звезды при вспышке магния!?» Но осветить вспышкой магния даже близкую к нам Луну было бы несколько затруднительно и, фотографируя светила именно за счет их собственного света, приходится, наоборот, тщательно оберегать фотопластинку от постороннего света. Поэтому иногда даже курить поблизости приходится с осторожностью!

Еще один возможный и надоевший вопрос кого-либо из экскурсантов астроном, вероятно, сам поторопится предупредить: «Мы погоду не предсказываем. Это дело метеорологов». Погода — это состояние атмосферы, а интересы астрономов лежат за ее пределами.

Окидывая взором обсерваторию, вы замечаете, что на территории, кроме одного-двух больших зда-

ний, раскинуты башни, большие и малые, с круглыми куполами, которые можно по желанию поворачивать. В куполах видны широко раскрытые прорезилюки, сквозь которые свободно проходит воздух. Через эти люки телескопы глядят в небо. Часовой механизм медленно поворачивает трубу вслед за суточным вращением звездного неба, и когда производится фотографирование большим телескопом, то астроном лишь время от времени смотрит в меньший телескоп, укрепленный на большом и параллельный ему, чтобы проверить, правильно ли действует часовой механизм и не нужно ли поправить положение телескопа или изменить быстроту хода механизма.

Холодно в башне. Но разве нельзя наблюдать в телескоп, находясь в теплом помещении и глядя в него через стекло? — Увы!.. Стекло, из которого делаются объективы телескопов, должно быть самого лучшего качества с точки зрения его однородности и других свойств. Поверхность его должна иметь заданную форму и может отклоняться от нее не больше чем на десятитысячные доли миллиметра. Всякое обыкновенное стекло перед объективом, пусть самое лучшее, так испортит изображения, даваемые телескопом, что ничего нельзя будет рассмотреть. Одеть наблюдателя в какой-нибудь костюм с искусственным подогревом тоже нельзя, потому что от него пойдут струи теплого воздуха и, уходя наверх через люк, они будут еще больше портить изображения светил, и без того испорченные неспокойствием земной атмосферы — всегдашнего «врага» астрономов. Наоборот, чтобы уничтожить токи воздуха из башни наружу, ее нарочно проветривают еще до наблюдений.

Наличие этого «врага» служит причиной того, что в большой телескоп вам могут показать Луну лишь с тем же увеличением, как и в небольшой телескоп,— с увеличением в 150—200, редко в 300 раз и никогда с увеличением свыше 500—600. Между тем телескоп с зеркалом диаметром в 5 метров мог бы дать увеличение порядка 20 000 раз, но таким увеличением нельзя воспользоваться из-за помех, создаваемых волнением земной атмосферы.

«Зачем же вы строите тогда все бо́льшие и бо́льшие телескопы?» — спросите вы, и астроном ответит:

«Чем больше диаметр телескопа, тем больше света он собирает, тем больше светил в него видно, тем более далекие и реже встречающиеся светила можно с ним наблюдать, тем меньше времени тратится на их фотографирование».

Едва ли кому-нибудь может прийти в голову, чтобы старший астроном смотрел в самый большой телескоп, а самый младший астроном использовал самый маленький телескоп. Не говоря уже о том, что в большинстве случаев сейчас в телескоп вообще не смотрят, а фотографируют им или приставляют к нему какой-либо вспомогательный прибор,— распределение телескопов производится не по чинам астрономов, а по выполняемым ими задачам. Телескопы бывают очень разных свойств и не одним размером определяются их качества и достоинства. Для решения некоторых научных задач астроном не променяет специальный маленький телескоп на самый большой, но менее для него подходящий.

Дело в том, что одни телескопы, дающие крупный масштаб изображений, позволяют фотографировать сразу только маленький участок неба и требуют долгой выдержки для получения «портрета» кометы или другого небесного светила. Другие же телескопы позволяют, хотя и в мелком масштабе, сразу заснять большие участки неба, а давая маленькое, но яркое изображение кометы с хвостом, допускают короткую выдержку (экспозицию). Телескопы, специально приспособленные для фотографирования, называются а с т р о г р а ф а м и (астро-графами), хотя просто фотографами (фото-графами) называются не приборы, а люди, что и приводит иногда к недоразумениям.

Фотографии неба, а именно стеклянные негативы, на обсерваториях берегут как зеницу ока. Из таких негативов со временем составляется целая «стеклянная библиотека», хранящая в себе историю неба. Каждый негатив — это важный документ. Сравнивая старые фотографии неба с новыми, мы обнаружи-

ваем изменения в небе: колебания блеска звезд, их взаимные перемещения и прочее.

Кроме обычных телескопов вы можете увидеть странные, гигантские сооружения, какие-то фермы, металлические сетки и сотни стержней на рамах. Вас уверят, что это радиотелескопы. Но о них — потом.

## ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ — ГЛАЗА АСТРОНОМОВ

Главное назначение телескопа,— повторим еще раз,— это собрать как можно больше света от небесных светил. Астрономам вечно не хватает света от звезд, чтобы его всесторонне анализировать. Вот почему мы гонимся за увеличением диаметра телескопов, но стараемся вместе с тем повысить и даваемый ими масштаб изображений светил. Масштаб зависит от длины телескопа, точнее, от его фокусного расстояния, или расстояния от объектива до того места, где получается изображение светила. Чем больше изображение, тем, конечно, лучше его можно рассмотреть.

С увеличением размеров телескопа растут все трудности его изготовления, так как вес его растет пропорционально кубу его диаметра, а точность его изготовления должна быть все та же. Эта точность определяется тем, что стекло объектива должно быть везде одинаково однородным, что отшлифовано и отполировано оно должно быть с точностью до десятитысячных долей миллиметра. Кроме того, установка должна быть настолько совершенной с механической точки зрения, чтобы громадный телескоп мог двигаться вслед за суточным вращением звезд, не допуская отклонений больше двух-трех сотых миллиметра.

Представьте же себе махину, которую по грузности можно сравнить с паровозом, изготовленную с такой точностью и плавно перемещающуюся по воле наблюдателя!

Вращение телескопов вслед за суточным вращением неба производится вокруг оси, направленной

на полюс мира, и осуществляется часовым механизмом.

Два века шла борьба между двумя типами телескопов — *рефракторами* (с выпуклым преломляющим

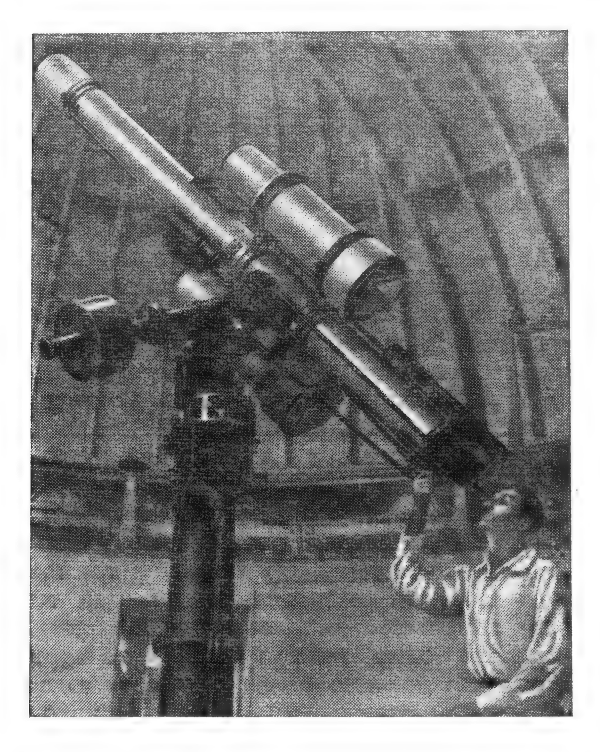


**Рис. 8. Двойной астрограф Симеизской обсерватории. У окулярного конца контрольной трубы астрографа — автор этой книги. (Снимок 1931 г.)**

стеклом-объективом) и *рефлекторами* (с вогнутым отражающим зеркалом). В конце прошлого века рефлекторы победили в области крупных инструментов, потому что зеркала стали делать уже не из металла, как раньше, а из стекла, и покрывать тончайшим слоем серебра или алюминия, отражающим свет. Для

зеркала не надо такого хорошего и строго определенного сорта стекла, какое нужно для объектива, через который свет проходит насквозь, и шлифовать приходится только одну поверхность, а не четыре,

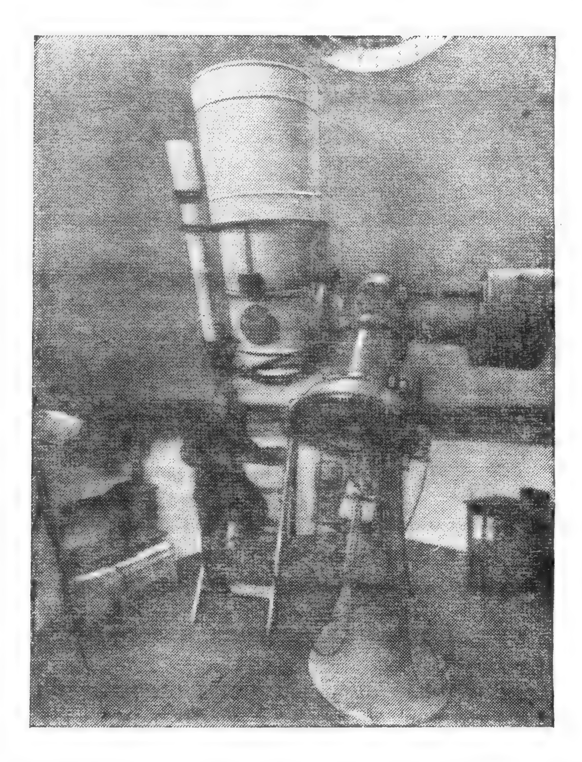


**Рис. 9. Телескоп Максутова (о котором мы подробно расскажем дальше), установленный на Пулковской обсерватории. В руках у наблюдателя — клавиши управления, позволяющие направлять телескоп в нужную точку неба простым нажатием кнопок.**

как в объективе, обычно состоящем из двух стекол. Рефлекторы не только дешевле, их не только легче изготовлять, но им можно придать такие размеры, которые для рефракторов оказались неосуществимыми.

В XX веке так и не удалось сделать объективы бо́льшие тех, какие (до 1 *м* диаметром) делали в конце прошлого века. Не удалось сделать объективы даже того же самого размера. Между тем, рефлекторы таких размеров изготовляются без особых помех, и в Калифорнии (США) после второй мировой войны

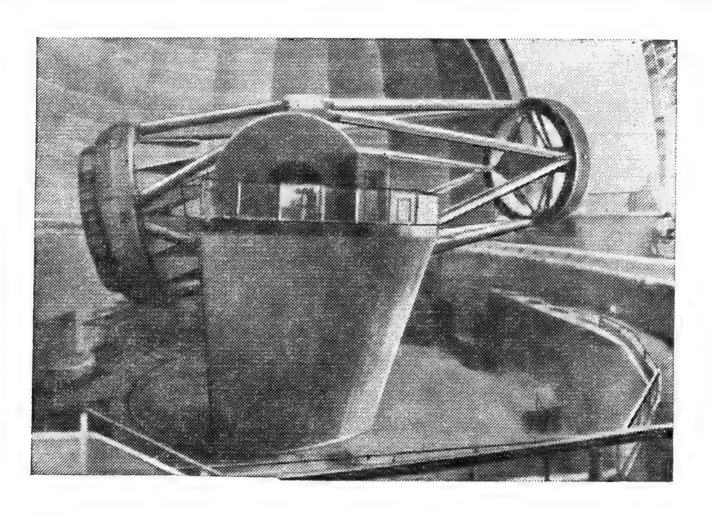


Рис. 10. 6-метровый телескоп-рефлектор, установленный в СССР.

вступил в строй телескоп-гигант с зеркалом диаметром в 5 *м*.

В нашей стране первые рефлекторы изготовлял Яков Брюс еще в начале XVIII века. С тех пор в России был построен ряд крупных обсерваторий, число которых после Великой Октябрьской социалистической революции быстро возросло.

«Крепости» советской астрономии сильно пострадали от нашествия фашистских варваров. Пулковская обсерватория — «астрономическая столица мира» (как ее вслед за американскими астрономами Гульдом и С. Ньюкомбом часто называли за рубежом) была разрушена при блокаде Ленинграда.

Благодаря заботе партии и правительства обсерватории, разрушенные фашистами, восстановлены и

оборудованы лучше прежнего. Выстроено также много новых обсерваторий.

Советская страна имеет теперь собственную оптико-механическую промышленность, которой в царской России не было совсем, но которая на базе осуществленных пятилетних планов выросла и после войны стала особенно мощной. Но дело не только лишь в воспроизведении давно существующих типов

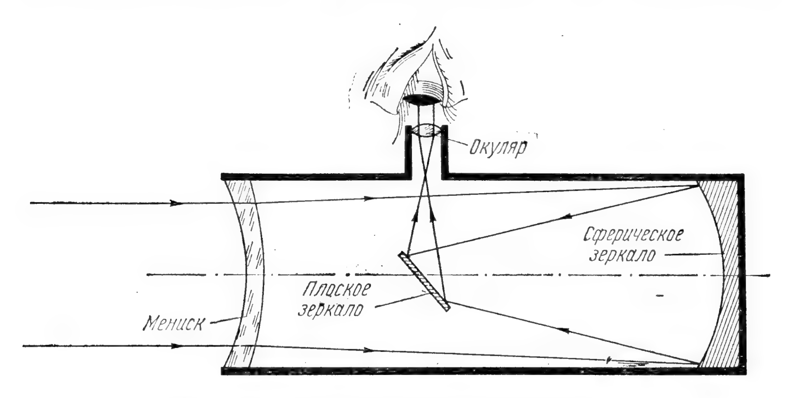



Рис. 11. Схема телескопа Максутова.

телескопов, погоне за простым увеличением телескопов с сохранением всех их недостатков.

В самом деле, рефлектор все лучи разного цвета собирает в один фокус, давая неокрашенное изображение, да вот беда — фотографировать им плохо. Чуть в сторону от той точки неба, куда направлен телескоп,— и изображения звезд уже превращаются в фокусе из точек в подобие каких-то птичек и размываются так, что даже «и смотреть на них не хочется».

Между тем астроном хочет, а часто и должен сфотографировать сразу большой участок неба, скажем, целое созвездие. Как быть? Не поможет ли обыкновенный фотографический объектив? Но очень большие объективы хороших качеств (из нескольких линз) для фотографирования звезд мы делать пока не умеем, да и стекла их поглощали бы слишком

много света вследствие своей большой толщины. Более простые объективы не дают резких изображений большого участка неба, хотя они и лучше, чем

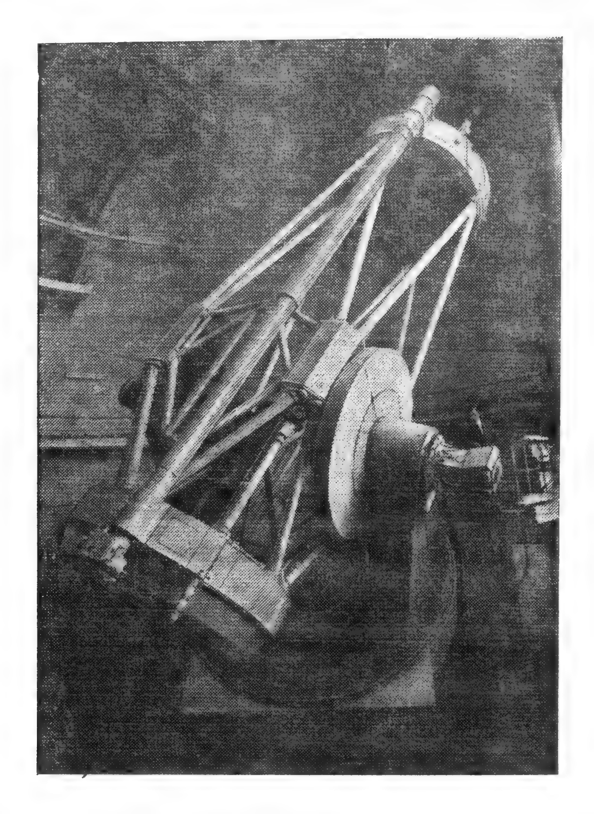


Рис. 12. Вот как выглядит 2,6-метровые телескопы-рефлекторы, установленные на Крымской и Бюраканской обсерваториях.

рефлекторы. Но, кроме того, всякий объектив дает непременно слегка окрашенное изображение, так как не сводит в одну точку все лучи разного цвета, идущие от звезды.

Уже простой рефлектор с описанным выше недостатком должен иметь вогнутое зеркало с поверх-

ностью не в форме участка шара (сферической), а с несколько иной (параболической), изготовить которую гораздо труднее, чем сферическую. Попытки же сделать телескоп из ряда зеркал сложной формы приносили новые трудности и мало пользы.

Когда из окруженного врагами Ленинграда стали вывозить голодающих, но стойких ленинградцев, в одном из поездов на полке лежал и думал очень высокий человек. Много интересных и полезных мыслей родилось в голове этого пассажира, но сейчас пассажир размышлял над печальной судьбой своего детища. Детищем этим был предполагавшийся массовый выпуск школьных телескопов, которые до этого у нас не производились. Телескоп предполагалось делать зеркальный — маленький рефлектор. Но и помимо войны, прервавшей производство телескопов, рефлектор этот обещал много хлопот. Алюминированное зеркало его от действия воздуха и пыли потускнеет, и школы станут его браковать,— размышлял пассажир.— Хорошо бы предохранить зеркало от этой опасности, защитив его спереди плоскопараллельным стеклом,— думал Д. Д. Максутов, ибо пассажир и был именно этим нашим выдающимся оптиком. Но тогда, продолжал рассуждать Максутов, имеющееся в рефлекторах маленькое зеркальце, которое отбрасывает лучи назад или вбок, где они и собираются в фокус и где ставят окуляр, можно приклеить к этому самому переднему стеклу. При этом отпадет надобность в особых держателях маленького зеркала, которые портят изображение. Но ведь в одном из телескопов маленькое зеркало бывает вогнутым или выпуклым. Почему бы тогда не заменить плоскопараллельное стекло мениском, т. е. выпукло-вогнутым стеклом, таким, чтобы его центральная посеребренная часть сама являлась маленьким зеркалом нужной кривизны. Конечно,— думал Максутов,— мениск надо взять с такими кривизнами поверхности, чтобы он подобно плоскопараллельному стеклу не искажал изображений, даваемых несферическим зеркалом, иначе... И вот тут-то Максутов и сделал свое открытие. Можно взять легко изготов-

ляемое сферическое зеркало, искажающее изображение, так сказать, в одну сторону, а мениск сделать таким, чтобы он настолько же искажал изображение в противоположном направлении. В итоге ошибки системы взаимно уничтожатся, и изображение будет безупречным по форме. Малая толщина стеклянного мениска обеспечивает отсутствие заметного различия в положении фокуса для разных лучей. Так сам Д. Д. Максутов рассказывал о ходе своих мыслей.



Рис. 13. Шлифовку зеркала диаметром 26 *см* проводит Б. А. Воронцов-Вельяминов (1940 г.).

Такой менисковый телескоп можно применять вместо обычного рефлектора для рассматривания светил, но он будет и лучше по качеству и в несколько раз короче, т. е. удобнее в обращении. Менисковый телескоп может явиться и фотокамерой огромных размеров для фотографирования больших участков неба. Ряд лет для школ выпускались маленькие менисковые телескопы по системе Максутова. Изготовлены и большие менисковые телескопы, предназначенные и используемые для научных целей. Наибольший из них, диаметром 70 *см*, установлен в горах Грузии, на Абастуманской обсерватории.

Развитие советской оптико-механической промышленности сказалось в том, что в 1967 г. была закончена сборка основных частей самого большого в мире телескопа с параболическим зеркалом диаметром 6 *м*.

Небольшой телескоп можно изготовить в домашних условиях. Каждый аккуратный и терпеливый человек, в том числе школьник, без большого труда и затрат может сделать себе настоящий телескоп-рефлектор с зеркалом диаметром от 10 до 15 *см*. Это несравненно проще, чем можно себе представить.

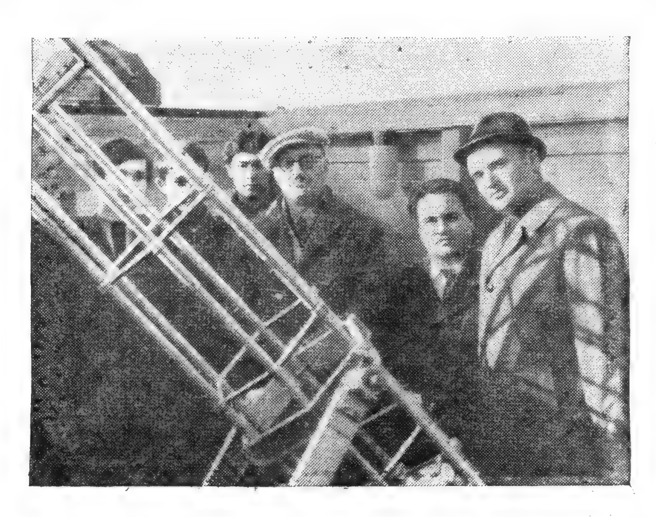


Рис. 14. 26-сантиметровый рефлектор, изготовленный собственноручно автором книги и установленный на здании Саратовского ун-та в 1973 г. Стоят сотрудники университета и автор (в середине).

К сожалению, сделать для такого телескопа хорошую подставку гораздо труднее, так как это требует и разных материалов и умения работать если не по металлу, то хотя бы по дереву, чем могут похвалиться немногие из любителей небесных тайн.

Перед Великой Отечественной войной, не удовлетворяясь тем, что в моем Московском университете не было тогда никакого подходящего рефлектора, я решил изготовить его сам. Шлифовать зеркало диаметром 26 *см* и делать для него все механические части монтировки я был так же неподготовлен, как большинство из вас, дорогие читатели. Пришлось стать оптиком-любителем и конструктором-токарем-

механиком-любителем. Но работа, не блистая внешней отделкой, все же удалась. В дальнейшем Московский университет получил более мощные телескопы, и я передал свой телескоп Саратовскому университету. Там его дооборудовали часовым механизмом, и он теперь несет службу на станции наблюдения искусственных спутников Земли. Его используют также и для другой научной работы и для демонстрации небесных светил учащимся и населению. Немало любителей изготовили сами телескопы еще большего размера и с лучшей отделкой, так что, как видите, «не боги горшки обжигают».

Зеркало изготовляют, двигая радиально и вращая в то же время один толстый стеклянный диск по другому такому же, поместив между ними смоченный порошок — абразив *).

### СПУТНИКИ ТЕЛЕСКОПА

Наиболее увлекательные и подробные сведения о физической природе небесных тел дают не простое их рассматривание и фотографирование, а точные измерения при помощи вспомогательных приборов. Они — спутники больших телескопов.

Для измерения положений и размеров светил на фотографиях в лаборатории, находящейся при обсерватории, имеются специальные *измерительные приборы*, позволяющие измерять расстояния на пластинке с точностью до тысячной доли миллиметра.

Хотя эти приборы и являются «вспомогательными» при телескопах, данные, доставляемые ими, часто являются более ценными, чем те, которые мы получаем, наблюдая непосредственно в телескоп.

Для измерения блеска небесных светил служат приборы — *фотометры*, в том числе фотоэлектрические. Действие последних основано на том самом принципе превращения света в электроэнергию, который используется, например, в звуковом кино.

---

*) Отсылаем читателя к книге проф. М. С. Навашина, «Телескоп астронома-любителя», изд. 3-е, «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1975.

Для измерения почернения на фотографических негативах, по которым тоже можно измерять блеск светил, применяются разнообразные *микрофотометры*.

Провожая вас с обсерватории, астроном мог бы вам сказать: «Не зажигайте, пожалуйста, спичек, пока вы не отойдете больше чем на 300 километров от обсерватории, потому что сегодня у нас будут измерять тепло, получаемое от звезд, и прибор будет реагировать на вашу спичку». Если он так скажет, то это будет лишь полушуткой. Что звезды согревают нас очень мало, мы уже давно все знаем по опыту, особенно в морозную ночь. Умудриться измерить подобное ничтожное нагревание Земли звездами — это величайшее достижение современного приборостроения. Действительно, *термоэлемент*, которым измеряется тепло от звезд, имеет исключительную чувствительность, но, конечно, принимаются все меры к тому, чтобы на прибор не упало случайно никакое постороннее излучение, а потому вы без вреда для науки сможете зажечь спичку не только не отходя на 300 *км*, а даже не отходя от башни телескопа.

Термоэлемент состоит из спая двух проволочек из разных металлов. Если покрытое сажей место спайки нагревать, то в проволочках возникает электрический ток. Сажей место спайки покрывают, конечно, не для того, чтобы оно пачкалось, а для того, чтобы здесь вся падающая энергия поглощалась и превращалась в тепло. Чтобы убедиться в этом свойстве черной матовой поверхности, какой является сажа, попробуйте летом сменить белую шляпу на черную.

Для измерения тепла, приходящего от звезд, применяют проволочки с поперечным сечением 0,01 *мм*. Их вес составляет 0,03 *мг*, и возникающий в них электрический ток измеряется с точностью до $3 \cdot 10^{-11}$ ампера *). Только подобным точным прибо-

*) $10^{11}$ означает число, выражаемое единицей с 11-ю нулями, а $10^{-11}$ означает единицу, деленную на $10^{11}$. «Порядком» какой-либо величины называют приближенное ее значение в такой форме: о числе $3 \cdot 10^{11}$ говорят, что оно порядка $10^{11}$, о числе $7 \cdot 10^{11}$, что оно порядка $10^{12}$, о числе $3 \cdot 10^{-11}$, что оно порядка $10^{-11}$, о числе $7 \cdot 10^{-11}$, что оно порядка $10^{-10}$ и т. д.

ром можно измерить тепло, приходящее к нам от отдельных ярких звезд. Больше всего его доходит к нам от яркой красной звезды Бетельгейзе в созвездии Ориона: $7{,}7 \cdot 10^{-11}$ малой калории на квадратный сантиметр за минуту. Собирая с помощью $2^1/_2$-метрового вогнутого зеркала это тепло в течение года, мы бы собрали его не больше того, что нужно для нагревания наперстка воды всего лишь на два градуса!

Не хотите ли рассчитать, сколько времени понадобится на то, чтобы таким образом вскипятить чайник?! Впрочем, и не пытайтесь рассчитывать, так как это требует трудного учета потери теплоты чайником за время нагревания при неполной его тепловой изоляции.

В распоряжении астрономов есть способы, позволяющие проверить данные, даваемые термоэлементом, который, впрочем, хорошо зарекомендовал себя при измерении небольших количеств тепловой энергии на Земле.

В скромных пределах в астрономии используется киносъемка, например, для изучения быстрых движений на Солнце. Но в большинстве случаев свет небесных тел слишком слаб, чтобы допускать киносъемку, а изменения в них слишком медленные, чтобы киносъемка имела смысл. Те движения, которые вы видите в астрономических кинофильмах, сняты при помощи макетов — глобусов и шариков, изображающих планеты и звезды. Телевидение же в астрономии стало применяться недавно. Как-то в Москве, прямо из башни обсерватории МГУ, морозной ночью передавалось для всех телезрителей изображение Луны, даваемое большим телескопом. Применяли телевидение также и для научных целей. В Пулковской обсерватории Н. Ф. Купревич по телевизору изучал Луну в инфракрасных — тепловых лучах, испускаемых ею, а в 1965 г. в Крымской обсерватории на экране телевизора, спаренного с телескопом, увидели звезды гораздо более слабые, чем в этот же телескоп можно было видеть или фотографировать. Но техника телевизионной астрономии еще сложна

и ее работа недостаточно выверена. Более широко передача изображений по телевидению и с большим успехом, стала применяться на межпланетных автоматических станциях. Так передавались многочисленные изображения Луны и Марса с близкого расстояния и даже панорамы с самой поверхности Луны.

С конца 50-х гг. возникли новые методы изучения небесных светил, с помощью которых исследуют их излучение в областях спектра, раньше недоступных для ученых. Эти методы, или области изучения, стали называть астрономией с разными прилагательными, по образцу того, как еще раньше создали «радиоастрономию». Теперь говорят об астрономии «инфракрасной», «рентгеновской», «баллонной», «спутниковой» и «нейтринной». Распространение исследований на инфракрасную, далекую ультрафиолетовую и рентгеновскую области спектра крайне важно для лучшего понимания природы светил и происходящих в них процессов. Поглощение света нашей атмосферой в этих лучах спектра до сих пор являлось главным препятствием. Теперь фотоумножители, электронно-оптические преобразователи, новые сорта фотопластинок и особые приемники радиации позволили регистрировать инфракрасное излучение светил, особенно далекое, если применять подъем приборов на воздушных шарах-баллонах, аэростатах, стратостатах и высотных ракетах, пользуясь автоматизацией управления ими. Такие способы подъема приборов в верхние слои атмосферы, а тем более установка их на искусственных спутниках Земли и на межпланетных автоматических станциях позволили также заглянуть далеко и в ультрафиолетовую и в рентгеновскую области спектра. Стало возможным изучать и первичные космические лучи высокой энергии.

Ставятся опыты по «ловле» нейтрино — элементарных частиц, испускаемых из недр Солнца и звезд при ядерных реакциях и свободно выходящих из этих недр в Космос. Это вестники процессов в недрах звезд, о природе которых судят пока только по теоретическим расчетам.

Больше всего данных приносит нам спектральный анализ света, идущего от небесных светил. Спектры светил — это паспорта, характеризующие их физическую и химическую природу и многие другие их свойства. Что такое спектр и как он выглядит — коротко не скажешь, об этом говорит весь следующий параграф. Не усвоив хорошо принципов спектрального анализа, нельзя понять большинство выводов астрофизики, т. е. физики небесных тел.

## СПЕКТРОГРАФ И СПЕКТРЫ

Лучи света — посланцы своего хозяина, источника света. Разложенные в спектр, они осведомляют нас о физическом состоянии светила, пославшего эти лучи. Оно может находиться сколь угодно далеко от нас, лишь бы от него мы получали достаточно света, чтобы его спектр можно было сфотографировать. Такая фотография спектра, называемая *спектрограммой*, получается с помощью *спектрографа*.

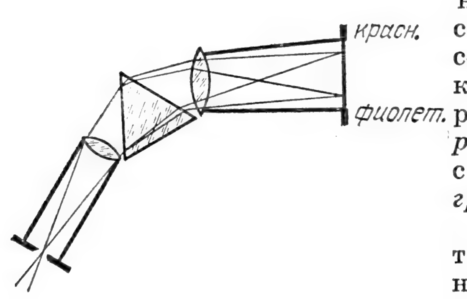


Рис. 15. Схема устройства спектрографа.

Устройство спектрографа изображено на рис. 15. Главной его частью является трехгранная призма из прозрачного вещества, обычно из стекла, преломляющая лучи света различной длины волны (различного цвета) в различной степени — тем сильнее, чем длина волны короче. Так, зеленые лучи преломляются и отклоняются к основанию призмы сильнее, чем красные, а фиолетовые лучи сильнее, чем зеленые. Свет распространяется волнами, и в зависимости от того, какова его длина волны, мы получим впечатление того или иного цвета. Длину волны выражают в десятимиллионных долях миллиметра, называе-

мых ангстремами. Длина волны зеленого цвета составляет около 5000 ангстрем (или около пяти десятитысячных миллиметра). Всякое хотя бы ничтожно малое изменение длины волны соответствует изменению цвета (хотя бы ничтожно малому и незаметному для глаза). Некоторые источники света посылают

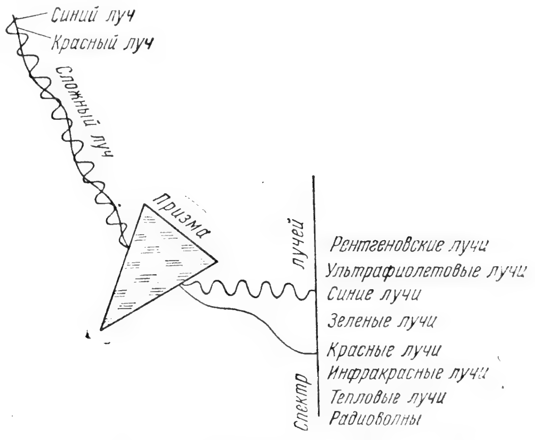



Рис. 16. Отклонение призмой лучей с разной длиной волны и полный спектр электромагнитных волн.

свет только одной определенной длины волны, другие посылают свет, состоящий из лучей нескольких определенных длин волн, из которых одни лучи могут быть яркими, другие слабыми, третьи могут быть интенсивными, но невидимыми глазу. Например, инфракрасные или тепловые лучи, имеющие очень большую длину волны, невидимы глазом. Невидимы глазом также ультрафиолетовые лучи, обладающие длиной волны короче примерно 4000 ангстрем, и рентгеновские лучи — несравненно более коротковолновые, но так же как и ультрафиолетовые, действующие на фотографическую пластинку.

Рентгеновские и «далекие» ультрафиолетовые лучи небесных светил до нас не доходят — их поглощает и задерживает в нашей атмосфере слой озона (газа,

молекулы которого состоят из трех атомов кислорода).

За инфракрасными лучами лежат в спектре еще более длинноволновые лучи, с помощью которых осуществляется радиосвязь. Все лучи спектра от радиоволн и до рентгеновских лучей представляют собой электромагнитные волны.

В обычном спектральном анализе изучаются лучи спектра от инфракрасных до ультрафиолетовых. Из этой области только средняя часть видна глазом. Сильнее всего действуют на глаз желтые и зеленые лучи, поэтому яркость того или другого участка спектра, как она видна глазом, еще не характеризует *энергию* излучения света в данной длине волны,— яркость для глаза зависит и от энергии, заключенной в данном месте спектра, и от чувствительности глаза к ней. То же касается и фотопластинки.

Если вдоль спектра двигать узкую полоску покрытого сажей металла, то она будет поглощать всю падающую на нее энергию и превращать ее в тепло. В зависимости от степени нагревания меняется электропроводность металла, и потому, измеряя ток, пропускаемый через это меняющееся электрическое сопротивление, можно выяснить истинное распределение энергии вдоль всего спектра. Прибор такого рода называется *болометром*.

Цвет источника света зависит от того, лучи каких длин волн и с какой интенсивностью он испускает. Например, раскаленные пары натрия почти всю свою энергию испускают в длине волны, соответствующей желтому цвету. Поэтому цвет паров натрия желтый. Пары ртути бóльшую часть своей энергии испускают в длинах волн, соответствующих зеленому и густофиолетовому цвету. Поэтому цвет паров ртути представляет собой весьма своеобразную смесь зеленого и фиолетового.

Некоторые источники света, например, нить электрической лампы, излучают свет всевозможных длин волн (всех без исключения, без перерыва), поэтому спектр их лучей называется непрерывным. Цвет таких источников света зависит от распределения энергии

по разным длинам волн, т. е. от ее распределения вдоль спектра. Если, например, больше всего энергии испускается в красных лучах, то цвет источника света красный. Если больше всего энергии испускается в ультрафиолетовых лучах, невидимых глазу, то цвет источника определяется самым ярким местом в *видимой* части непрерывного спектра или сочетанием цветов самых ярких мест. Известно, например, что белый цвет создается как смесью всех цветов, взятых в определенной пропорции, так и определенной смесью двух цветов, например, желтого и синего, красного и голубого (это смешение света разных *цветов* надо отличать от смешения *красок* в живописи).

Но вернемся к рис. 15. Чтобы разложить свет на его составные части, на призму надо направить под определенным углом (в зависимости от свойств данной призмы) пучок параллельных друг другу лучей. Это достигается *коллиматором*, который представляет собой трубку с объективом, обращенным к призме, и с короткой щелью на другом ее конце. Щель параллельна ребру призмы и находится в том месте, где лучи, упавшие на объектив со стороны призмы параллельным пучком, собрались бы в одну точку. Эта точка — главный фокус объектива. По известному в оптике «свойству обратимости» лучи, посланные такой освещенной щелью, выйдут из объектива и попадут на призму почти параллельным пучком.

На щели спектрографа объектив телескопа дает почти точечное изображение звезды или протяженное изображение другого небесного светила, например, планеты. В самом же спектрографе призма отклоняет к своему основанию лучи тем сильнее, чем короче их длина волны. Эти лучи падают на объектив фотографической камеры под разными углами. Объектив камеры дает на фотопластинке изображение освещенной щели в том или другом ее месте, в зависимости от угла падения на него лучей. Последний зависит, как мы видели, от длины волны. Поэтому на фотопластинке получается спектр источника

света в виде полоски, состоящей из ряда параллельных друг другу линий — изображений щели, из которых каждое образовано лучами определенной длины волны (из тех, какие испускает источник). Эта полоска, состоящая из ряда линий, и есть спектр. По месту, занимаемому линией в спектре, мы можем определить длину волны лучей, которые ее образовали. Для краткости говорят об определении длины волны самих линий в спектре. Если спектр содержит все длины волн — сплошь без перерыва, то сливающиеся друг с другом бесчисленные изображения щели образуют *непрерывный* спектр в виде цветной полоски. Он содержит все цвета радуги (вернее было бы сказать наоборот, т. е., что радуга содержит все цвета спектра). Источники света, испускающие только отдельные длины волн, дают, следовательно, спектр в виде ряда отдельных линий. Это — *линейчатый* спектр. Когда линии спектра светлые, то это спектр *излучения*. Но бывает, что перед источником непрерывного спектра находится вещество, поглощающее свет в отдельных, определенных длинах волн. Тогда изъятие энергии определенных длин волн из непрерывного спектра вызовет появление в нем мест, лишенных света, т. е. темных линий. Это будет спектр *поглощения*, тоже линейчатый.

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ГРАМОТА

Узнаем же, как читают паспорта светил, как читают их спектры, изучим спектральную грамоту.

Существуют, как мы видели, три вида спектров — три вида паспортов источников света: *непрерывный спектр*, линейчатый спектр излучения (короче, *спектр излучения*) и линейчатый спектр поглощения (непременно на фоне непрерывного спектра и называемый коротко *спектром поглощения*). Уже общий вид спектра говорит нам о природе свечения источника. Из опыта известно, что непрерывный спектр дают или твердые и жидкие раскаленные вещества или массы газа, в которых очень много свободных электронов — мельчайших частиц электричества. Та-

кой спектр может дать и небольшой слой чрезвычайно горячего и плотного газа и чрезвычайно толстый слой более разреженного газа.

Таким образом, непрерывные спектры дают, с одной стороны, нить электрической лампы и расплавленная сталь, с другой стороны,— газы, составляющие поверхностный слой Солнца и звезд. В лаборатории удавалось маленькие проволочки (пережигая их сильным электрическим током) превратить в газ, содержащий множество электронов, и он давал в момент испарения непрерывный спектр.

Атом — мельчайший представитель какого-нибудь химического элемента, т. е. вещества, не могущего быть химически разложенным на составные части, тем не менее очень сложен. Он является сложной системой частиц. Атомы разных химических элементов содержат разное число частиц и построены по-разному. Разрушать их или перестраивать методами химии нельзя. Раньше перестраивать их удавалось лишь природе, но теперь удается перестраивать атомы методами физики в лаборатории. Можно представить себе атом состоящим из ядра и вращающихся вокруг него электронов. У ядра определенный вес и определенный положительный электрический заряд, равный сумме отрицательных электрических зарядов электронов атома, а заряд каждого электрона одинаков. Заряд ядра определяет химические свойства атома. Столкнувшись с другим атомом, электроном или с мельчайшей частицей света — квантом, иначе — фотоном, наш атом может потерять один из своих электронов. Он приобретает тогда единичный положительный заряд, не уравновешиваемый противоположным зарядом электрона, который покинул своего хозяина. Он становится тогда ионом, или ионизованным атомом. Если оторвать у атома и второй электрон, то он становится дважды ионизованным атомом с двойным положительным зарядом.

От подобных повреждений и убытка при столкновениях атомы не чувствуют себя хуже, однако непрерывно лелеют надежду восстановить свое нарушенное «хозяйство» и пополнить его захватом свобод-

ного электрона. Электроны же, освобожденные от своей «крепостной зависимости», называются свободными, но им постоянно угрожает новый плен, так как их отрицательный заряд притягивается положительным зарядом ионов. Горе медленно летающим свободным электронам! Их легко захватить в плен. Быстрые же электроны между тем безопасно шныряют среди ионов, и ясно, что чем реже атомное население в единице объема (чем разреженнее газ), тем легче им ускользать от плена, сохраняя свободу, и поддерживать этим высокую ионизацию газа. А чем больше частиц толчется на одном месте, тем чаще они могут и столкнуться и снова соединиться.

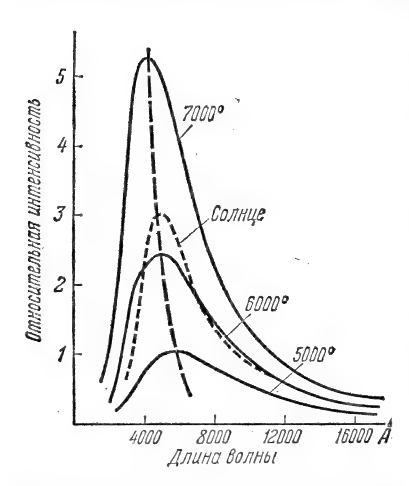



Рис. 17. Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела при разных температурах и в спектре Солнца. Наклонная прерывистая линия указывает смещение максимума интенсивности с повышением температуры в сторону коротких волн.

Из физики известно, что чем выше температура газа, тем быстрее носятся его частицы, тем энергичнее и чаще их столкновения и тем бóльшая доля его атомов ионизуется. Быстрота движения частиц определяет, как часто происходят различные столкновения; основываясь на этом, теория может наперед сказать, каково будет распределение энергии вдоль непрерывного спектра при данной температуре. Лучше всего теоретически изучено излучение *абсолютно черного* тела, которое так называется потому, что оно способно поглощать всю падающую на него энергию. Абсолютно черное тело обладает не только наибольшей поглощающей, но и наибольшей излучательной способностью при данной температуре. Излучение

нити электрической лампочки или внутренности раскаленной печи очень походит на излучение черного тела. Можно создать искусственное тело, еще более похожее на абсолютно черное тело, можно его нагреть и убедиться, как это делают физики, в том, что распределение энергии в его спектре в зависимости от температуры соответствует теории. Оказалось, что звезды и Солнце обладают почти такими же свойствами поглощения и излучения, как черное тело, и потому по распределению энергии в их спектре можно определить их температуру, о чем мы расскажем дальше. Итак, не смущайтесь тем, что Солнце принимают за черное тело, да к тому же абсолютно черное! Черный уголь сохраняет свои свойства абсолютно черного тела и тогда, когда он раскален и ослепительно светит.

Но вернемся опять к атомам, которые можно представлять себе для наглядности как копию Солнечной системы в миниатюре. Однако электроны в атоме могут занимать лишь определенные орбиты и, в отличие от планет в Солнечной системе, могут скачками переходить с одной из них на другую. Энергия атома определяется тем, по каким орбитам движутся его электроны, причем внутренние, ближайшие к ядру орбиты соответствуют наименьшему запасу энергии.

Чтобы перевести электрон в атоме на орбиту большего радиуса, надо затратить энергию, а эту энергию ему может сообщить налетевший на него квант света или другая движущаяся частица. Чем больше энергии она ему сообщит столкновением, тем дальше от ядра окажется электрон, и при некоторой достаточно большой энергии оторвется от него совсем, т. е. улетит прочь, и атом будет ионизован.

Однако долго разгуливать по более далекой от ядра орбите попавшему на нее электрону не приходится. Неумолимый закон природы таков, что через какую-нибудь стомиллионную долю секунды электрон снова соскочит на орбиту, более близкую к ядру, и отдаст при этом в форме излучения часть своей энергии. Эта энергия равна разности энергий электрона,

соответствующих внешней и внутренней орбите. Для разных атомов и для комбинации разных орбит при перескоке электрона в одном атоме эта энергия различна. Упомянутую разность энергии атом отдает в пространство в виде одной элементарной порции или *кванта* света, а определенной энергии кванта соответствует определенная длина волны, определенный цвет. Так, атом водорода может излучить квант красного света, квант синего света и т. д. Атом кадмия тоже может излучить квант красного света, но с несколько иной длиной волны, потому что разности энергии между разными орбитами, доступными для его электронов, несколько иные, чем в атоме водорода. Строение электронных оболочек ионизованных атомов, т. е. расположение в них орбит электронов, иное, чем у неионизованных (нейтральных атомов), поэтому и кванты, испускаемые ими, иные, чем у нейтральных атомов. Все же можно для наглядности представить так, как если бы при каждом перескоке электрона на орбиту, более близкую к ядру, издавался бы короткий звук совершенно определенного тона. Совокупность множества атомов в водородном газе (не очень плотном) излучает кванты всех величин, какие для него доступны, т. е. излучаемый водородом спектр состоит из целого ряда характерных для него отдельных длин волн, из определенных спектральных линий. То же касается атомов других химических элементов и комбинаций атомов — молекул. Отсюда получается возможность по спектру определить химический состав газа, излучающего свет, что из опытов было известно уже давно, но лишь не так давно было полностью объяснено в связи с развитием теории строения самих атомов.

Атом похож на рояль, могущий издавать только определенные звуки, только определенные ноты, тоже, кстати сказать, соответствующие определенным длинам звуковых волн. У каждого типа атомов свой набор «нот» — испускаемых им спектральных линий. Исследователь спектров не может, как настройщик, менять звучание «нот» атомов, но он может лучше, чем настройщик, замечать различие в двух

почти сходных нотах и определять по ним тип своего атома — рояля. Спектры ионизованных атомов иные, чем спектры нейтральных атомов. Если же от ядра оторваны все его электроны, то атом вообще теряет способность излучать, так как у него не осталось больше электронов, которые перескакивали бы с орбиты на орбиту, и энергия его не меняется. Он как бы

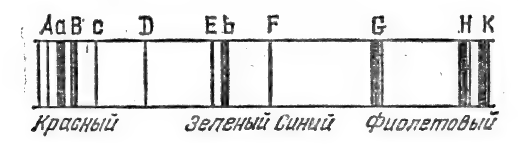



Рис. 18. Наиболее характерные линии поглощения в спектре Солнца. По традиции их обозначают большими и малыми латинскими буквами. Линии с и F принадлежат водороду, линия D — натрию, E — железу, группа линий b — магнию, G — железу, титану и кальцию, H и K — кальцию. Линии A, a и B образуются не на Солнце; они носят название теллурических и возникают в земной атмосфере. Линии A и B принадлежат земному кислороду, линия a — парам воды.

превращается из рояля в простую деревяшку без струн.

Так по длинам волн линий в спектрах производится качественный спектральный анализ. Он применяется с одинаковым успехом как для небесных светил, так и в многочисленных областях земной практики: в физике, химии, геологии, биологии, медицине и металлургии.

Разреженный газ испускает свойственные ему яркие линии спектра, издает свой набор световых нот, своего рода мелодию, вследствие возбуждения его атомов столкновениями с другими частичками вещества или с фотонами. Как в мелодию могут входить аккорды, так и в линейчатый спектр атома входят так называемые мультиплеты, или серии линий, появляющихся обычно вместе. Например, такими аккордами являются пара желтых линий в спектре натрия и вся серия линий в спектре водорода. Они появляются всегда вместе, когда, по разным причинам, другие группы линий в спектре того же атома

могут и отсутствовать. Однако тот же газ ведет себя иначе, если поместить за ним более горячий источник непрерывного спектра.

Будучи холоднее, он поглощает падающую на него извне энергию из области непрерывного спектра. Его атомы способны поглощать только определенные длины волн спектра, а не все. Поэтому из состава непрерывного спектра ослабляются поглощением только волны тех длин, которые атом при иных условиях сам бы стал испускать. Газ вызывает в непрерывном спектре при поглощении темные линии, в точности соответствующие по длине волны линиям, которые для него характерны при излучении. Спектр поглощения и спектр излучения атома — это как бы негатив и позитив одного и того же изображения в фотографии.

Конечно, поглотив энергию и возбудясь до состояния с большей энергией, атом, как мы уже знаем, почти мгновенно должен вернуть обратно свое приобретение. Однако квант света излучается атомом куда попало. Многочисленные атомы, получив энергию из одного определенного направления (оттуда, где находится источник непрерывного спектра), разбрасывают ее по разным направлениям. В результате, в направлении к наблюдателю, смотрящему на источник непрерывного спектра сквозь разреженный газ, дойдет не вся энергия, заключенная в этом непрерывном спектре, а лишь ее часть. В соответствующей длине волны энергия придет ослабленной, т. е. мы увидим темную линию в спектре. Описанная картина называется рассеянием света атомами.

Можно себе это представить так, что кванты, излучаемые в непрерывном спектре, представляют собой град всевозможных монет, кидаемых вам в игре стоящей вдалеке толпой. Но представьте, что между вами и толпой затесалось несколько мальчишек, которые из озорства перехватывают из этих монет, например, только пятачки и двугривенные. Поймав эти монетки, они швыряют их куда попало. Ясно, что в наборе монет, долетевшем до вас, пятачков и дву-

гривенных будет недоставать, хотя часть их все же долетит до вас.

Чем больше поглощающих атомов на пути луча непрерывного спектра, тем больше энергии поглощается и тем темнее, или, как говорят, интенсивнее, темная линия спектра.

Действительно, чем больше мальчишек «не по правилам» ввяжется в игру с монетами, тем больший убыток в пятачках и двугривенных вы потерпите. Зная поглощательную способность атомов (зная ловкость мальчишек в поимке монет), вы можете подсчитать число поглощающих атомов (число мальчишек) на пути луча света (в летящем потоке монет). Так становится возможным уже количественный химический анализ на основании интенсивности линий в спектре поглощения.

В астрономии источниками непрерывного спектра являются раскаленные поверхности звезд и Солнца, состоящие из огромных масс ионизованного газа. Их окружают тоже раскаленные, но все же более холодные газовые атмосферы. Рассеяние света в этих атмосферах производит темные линии в спектрах звезд и Солнца. По этим линиям можно произвести качественный, а по их интенсивностям и количественный химический анализ атмосфер звезд и нашего Солнца.

Если вспомнить, что атмосферы звезд состоят из многих химических элементов, из многих сортов атомов, из которых каждый сорт дает свою серию линий, как бы исполняет свою мелодию, состоящую из разных аккордов, то станет ясно, насколько хорошим музыкальным критиком должен быть исследователь спектров, чтобы разобраться в какофонии спектральных линий, в основательной мешанине нот, принадлежащих разным ариям и аккордам. Бывает, что при отождествлении линий спектров звезд какая-нибудь нота и фальшивит. Тогда приходится биться, чтобы установить, какой мелодии и какому роялю (атому) она на самом деле принадлежит...

Остается рассказать, как спектры разоблачают движение небесных светил. Вспомним принцип Доплера, знакомый нам из школьной физики: если

источник колебаний движется относительно нас, то длина волны этих колебаний, как они воспринимаются нами, меняется. При сближении длина волны укорачивается, а при удалении увеличивается. В случае звуковых колебаний постоянно встречающийся пример этого дает свисток мчащегося локомотива. Пока он несется к нам, звук его свистка выше и резко

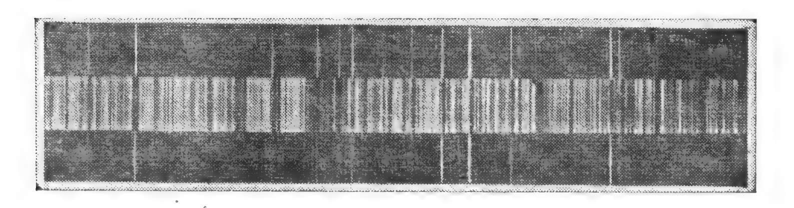


Рис. 19. Смещение линий в спектре (поглощения) звезды ε Андромеды (средний спектр), свидетельствующее о приближении звезды к нам со скоростью 100 *км/сек*. Сверху и снизу — так называемые спектры сравнения, полученные от лабораторного источника света.

понижается, когда локомотив, обдав нас паром, начнет быстро удаляться.

В случае световых колебаний меняются длины волн в спектре. Однако даже при скоростях в сотни километров в секунду изменений цвета в спектре заметить нельзя,— так мало́ изменение длин волн. Лишь в «научном» анекдоте водитель автомашины может уверять, что красный свет светофора показался ему зеленым оттого, что он несся очень быстро навстречу светофору. Для этого ему пришлось бы нестись со скоростью более 60 000 *км* в секунду! Можно заметить лишь сдвиг линий в спектре — изменение их длины волны $\Delta\lambda$. Согласно принципу Доплера скорость $v$ движения источника относительно нас

$$v = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda},$$

где $\lambda$ — нормальная длина волны линии спектра, а $c$ — скорость света, равная 300 000 *км/сек*.

При сближении источника света и наблюдателя линии спектра смещаются к фиолетовому концу спектра и к красному концу — при их взаимном удалении.

Что все это в самом деле так, доказал около полувека назад знаменитый русский астрофизик А. А. Белопольский. В Пулковской обсерватории он установил в своей лаборатории ряд быстро вращающихся зеркал, в которых отражался источник света так, что его изображение двигалось со скоростью, приближающейся к тем скоростям движения небесных тел, при которых только и можно с уверенностью заметить сдвиг линий в спектре, согласно принципу Доплера. С тех пор сомнения в верности описанного выше принципа отпали.

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ И «УШИ» АСТРОНОМОВ — РАДИОТЕЛЕСКОПЫ

Всякое нагретое тело испускает электромагнитные волны — ультрафиолетовые, видимые, тепловые и радиоволны, но в разной пропорции, в зависимости от свойства тела и его температуры. Мы уже говорили, что для так называемого абсолютно черного тела — идеального излучателя Планк вывел формулу, показывающую, как будет распределяться энергия в его полном спектре в зависимости от температуры.

В нагретом теле происходит хаотическое тепловое движение частиц. Кинетическая энергия, т. е. энергия движения частиц при их столкновениях, переходит в энергию электрического и магнитного поля и выход электромагнитной энергии растет с ростом быстроты движений, которой и определяется температура. Солнце, звезды и облака межзвездного разреженного газа испускают тепловое радиоизлучение, которое мы можем измерять. Но есть и другие причины радиоизлучения.

Электрически заряженная частица при перемене скорости создает переменное электромагнитное поле, т. е. излучает энергию. Перемену скорости электрона, а именно торможение, производит протон, когда он притягивает пролетающий мимо него электрон.

Мощность этого излучения крайне мала, но в газах космического пространства электронов и протонов бывает множество и в сумме они иногда дают значительное радиоизлучение. Изменение скорости электронов и протонов может происходить и под действием магнитного поля. Оно заставляет электрон двигаться по спирали, и испытываемое им при этом ускорение порождает электромагнитное излучение, в частности, радиоизлучение. Это — процесс магнитотормозного излучения, и он также встречается в Космосе, где есть магнитные поля. В случае, когда электроны несутся со скоростью, близкой к скорости света, в магнитном поле тоже возникает магнитотормозное излучение, но с гораздо большей энергией. Оно называется синхротронным по названию применяемого в ядерной физике сооружения — ускорителя частиц — синхротрона, где такое излучение впервые наблюдалось. Электроны же, скорость которых близка к скорости света, называются релятивистскими. Синхротронное излучение тоже обнаружено в Космосе.

Все перечисленные выше виды радиоизлучения образуют в радиодиапазоне частот такой же непрерывный, сплошной спектр, какой наблюдается в спектральном анализе. К сожалению, сплошное радиоизлучение небесных светил не доходит до нас целиком из-за его поглощения в земной атмосфере. Точнее, радиоволны поглощаются верхними наэлектризованными слоями атмосферы, называемыми ионосферой.

Окно прозрачности в ионосфере оставляет доступными для излучения длины волн от 16—20 *м* до $1^1/_4$ *см*. Микрорадиоволны длиною около 1 *мм* проходят через атмосферу уже плохо. На этот раз им мешают не наэлектризованные слои воздуха, а водяной пар в атмосфере. Такие волны примыкают к тепловым волнам, а они, как известно, поглощаются водой очень сильно. Вот через это «радиоокно» мы только и выглядываем, если хотите — прислушиваемся, к тому, что делается в радиодиапазоне за пределами земной атмосферы. Только в этом диапазоне возможна и посылка радиосигналов с Земли в Космос. С межпла-

нетных космических кораблей за пределами земной атмосферы теперь стал возможен прием и передача радиосигналов на любых частотах, но пока космические корабли еще не могут брать с собой на борт такую мощную радиоаппаратуру и такие запасы энергопитания, которые нужны для изучения очень слабого или очень далекого космического радиоизлучения.

Частота, на которой ведется широковещательная передача, в радиоприемнике преобразуется в звуковую частоту, в шум. Когда есть много помех, эти посторонние шумы заглушают интересующий нас концерт, особенно, если он передается слабой станцией или очень издалека. И в радиоастрономии говорят о шумах. Эти шумы создаются множеством процессов в Космосе; ведь пространство между небесными телами, называемое безвоздушным, не пусто. В нем носятся заряженные электрические частицы, в нем есть магнитные поля. Шумят и наша атмосфера и даже сам радиоприемник. Бороться с этими шумами и выделять из них нужное нам радиоизлучение како́го-либо небесного тела — в этом и состоит основная задача радиоастронома. С усилением чувствительности радиоприемника возрастает, вообще говоря, и шум.

Запись радиоизлучения сейчас делается автоматически при помощи самописцев. Перо прибора на движущейся бумажной ленте записывает «уровень», т. е. силу поступающего сигнала. Шум изображается зубчатой полоской, а сигнал — пиком над нею, тем более высоким, чем сигнал сильнее. Обработка таких записей — сложное дело. В частности, приходится учитывать особенности радиоприема. Часто прибор реагирует не только на тот излучатель, на который он направлен, но и на некоторые излучатели, расположенные в стороне, хотя и с меньшей чувствительностью. Так астрономы «слушают» радиошумы и радиоизлучение. Антенна радиотелескопа — как бы ухо астронома.

Чем больше «ухо» радиотелескопа, чем больше его антенна, тем больше энергии, идущей от далеких

светил, она улавливает. Антенны радиотелескопов бывают очень различных конструкций. Больше всего похож на оптический телескоп-рефлектор радиотелескоп, имеющий главной частью такое же зеркало, но

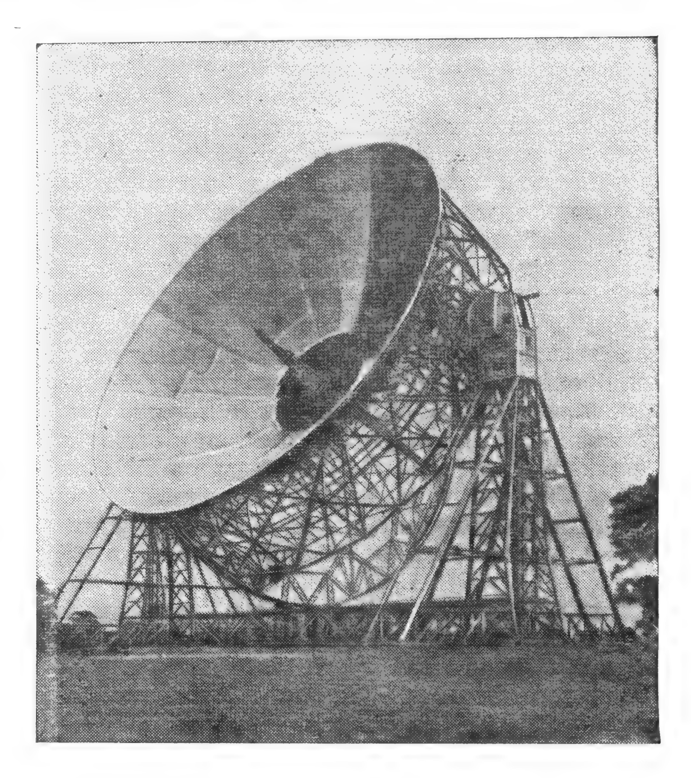


Рис. 20. Радиотелескоп обсерватории Джодрелл Бэнк (Англия) диаметром 76 *м*.

металлическое. Это гигантская чаша, в фокусе которой, где собирается излучение, помещен облучатель — небольшая антенна. От нее энергия по волноводу передается в помещение, где находится приемная аппаратура. Зеркало направляется на желаемый участок неба из этого помещения путем нажатия

нужных кнопок, управляющих электрически движением телескопа. Отличие радиотелескопа от оптического телескопа состоит в том, что облака для него не помеха. Радиоволны проходят и через них. Облака не прерывают наблюдений, но как утомительны непрерывные наблюдения в течение долгой зимней ночи!

Как известно, для того чтобы зеркало собрало лучи как можно точнее в фокус, надо, чтобы отклонения его поверхности от правильной формы не превышали длины волны принимаемого излучения. Длина световых волн меньше одного микрона, а длина радиоволн — сантиметры и метры. Поэтому зеркало радиотелескопа можно делать с гораздо меньшей точностью, чем оптическое зеркало, а изготовлять большие радиотелескопы легче. Это важно в двух отношениях.

Во-первых, они собирают больше энергии.

Во-вторых, у больших радиотелескопов по сравнению с малыми разрешающая способность, т. е. возможность различить по отдельности два источника радиоизлучения на малом угловом расстоянии друг от друга, больше. Но разрешающая сила падает с увеличением длины волны. Однако сейчас в радиоастрономии достигают иногда точности определения положения или размера источника даже большей, чем при наилучших оптических наблюдениях. Большое сплошное зеркало весит очень много. К счастью, как известно, мелкие царапины на зеркале, если они раз в 10 меньше, чем длина волны, не мешают. Поэтому зеркало радиотелескопа, предназначенного для метровых радиоволн, может быть без вреда продырявлено отверстиями до 10 *см* диаметром, следовательно, можно сделать зеркало не сплошным, а в виде металлической сетки. Это облегчает его вес, облегчает изготовление и значительно уменьшает его стоимость.

Радиотелескопы с зеркалом достигли поэтому уже за немногие годы диаметра почти в сто метров(!). Но зато и весят они сотни тонн, даже если они решетчатые. Понятно, что при таких размерах радио-

телескопы помещаются не в башне, а прямо на открытом месте. Чем больше и тяжелее телескоп, тем труднее его поворачивать, да еще с нужной точностью, и следить им за суточным вращением неба. Поэтому иногда идут на ограничение подвижности телескопа, устанавливая его так, что он может наблюдать небо

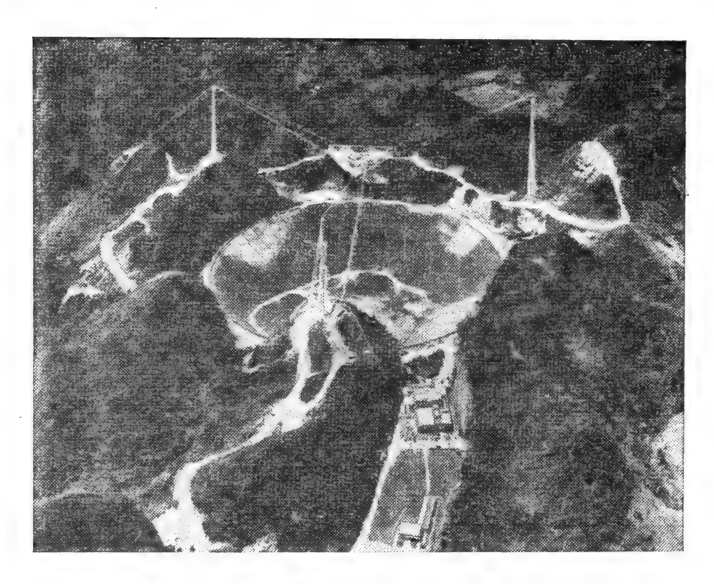


Рис. 21. Радиотелескоп Аресибо с неподвижным зеркалом на острове Пуэрто-Рико.

только вблизи меридиана или даже только вблизи зенита.

Какой сейчас радиотелескоп является самым лучшим и большим? Я на это затрудняюсь ответить.

Во-первых, все время строятся новые, все бо́льшие телескопы, и прежде чем я допишу эту книгу, прежде чем она будет издана и попадет вам в руки, положение изменится.

Во-вторых, радиотелескопы очень различны. У них разные возможности движения, некоторые велики, но изготовлены в расчете на прием только очень

длинных волн, а другие более универсальны. Самое большое зеркало радиотелескопа совсем неподвижно и установлено на дне жерла потухшего вулкана на острове Пуэрто-Рико. Его диаметр достигает 300 *м*! Наводка его на светило, возможная только вблизи зенита, осуществляется перемещением кабины, подвешенной на тросах между мачтами на высоте 135 *м*.

Есть радиотелескопы в виде множества согласованных друг с другом малых зеркал. В Пулковской

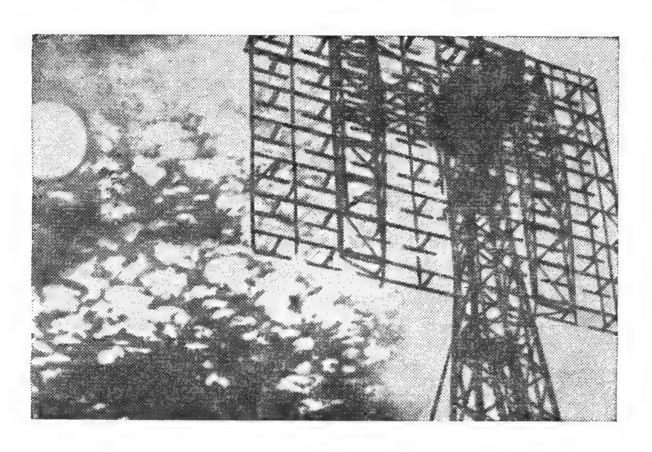


Рис. 22. Антенна радиолокатора, с помощью которой люди крикнули Луне «ау».

обсерватории радиотелескоп имеет вид дуги с концами, отстоящими друг от друга на 120 *м*. В СССР установлен также радиотелескоп из системы зеркал, расположенных по дуге окружности диаметром 600 *м*. Есть радиотелескопы (интерферометры) в виде креста со сторонами, тянущимися на сотни метров, и телескопы-антенны в виде плоской рамы с укрепленными на ней многочисленными стержнями — диполями. Увидев такие гигантские сооружения, «ни на что не похожие», вы даже не догадаетесь, что это радиотелескопы. Наибольшей точности интерoферометрический метод достигает тогда, когда радионаблюдения объекта одновременно ведут два больших радиотелескопа,

удаленных друг от друга... на диаметр земного шара. Большее раздвижение радиотелескопов, больший базис осуществить пока невозможно. Описанным способом удается измерять углы на небе порядка 0″,001 (!), что недоступно оптическим телескопам.

Итак, радиотехника тоже связывает Землю со звездным миром. Говоря словами поэта:

«Морозной ночи тишина,
Лесной завороженный воздух,
Земля в хрусталь погружена,
С ней разговаривают звезды.

Пространств бездонных светляки,
Светила вечной сказки сказок,
Так высоки, так далеки
Над ветками берез и вязов...

Им говорит Земля про нас
И, под натянутой антенной,
Стоишь, не опуская глаз,
На очной ставке со Вселенной».

*(А. Коваленков)*

## ОСЯЗАНИЕ АСТРОНОМОВ: РАДИОЛОКАТОР И ЛАЗЕР (МОЖНО ЛИ ПРОЩУПАТЬ ПЛАНЕТЫ И ОСВЕТИТЬ ЛУНУ?)

Важный метод, который с каждым годом приносит нам все новые возможности,— это *радиолокация* — определение положения (латинское locus означает «место») предмета, отражающего радиоволны, которые мы к нему посылаем. Радиолокация развилась во время второй мировой войны, но после этого нашла свое применение и в одной из самых мирных наук — астрономии.

Как известно, при помощи радиотехнических средств можно собрать радиоволны и послать их почти параллельным пучком, как, например, вогнутое зеркало прожектора посылает узкий луч света от источника, помещенного в его фокусе. В узком пучке энергия электромагнитных волн рассеивается мало и может достигнуть удаленного объекта, имея

достаточную мощность для того, чтобы отраженные лучи вернулись в пункт подачи сигнала с энергией, допускающей ее регистрацию радиоприемником. При этом радиоволны посылаются очень короткими, но мощными импульсами. Определяя направление, из которого к нам приходит сильно ослабленный рассеянием отраженный сигнал, мы узнаем положение объекта на небесном своде. Измеряя же точной аппаратурой время от момента посылки сигнала до момента прихода отраженного сигнала, мы узнаем и расстояние до предмета, так как радиоволны подобно свету распространяются со скоростью 300 000 *км/сек*.

После радиолокации кораблей и самолетов во время войны подумали: «а почему бы не применить этот метод и к Луне?» Правда, Луна и так видна каждому, а расстояние до нее и ее видимое место на небе в любой момент давно известно из астрономических измерений и вычислений. Но было любопытно проверить это радиотехническим методом, а может быть, и уточнить, если очень точно определить время пробега радиоволны туда и обратно: оно должно быть немного более двух секунд.

Расчеты возможности радиолокации Луны были сделаны впервые в СССР еще в 1928 г. Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси (как видим, и тут нужна теория!). Для радиолокации Луны вследствие потерь энергии на таком длинном пути нужна большая мощность радиопередатчика, и осуществлен такой опыт был лишь в 1946 г. в США и Венгрии.

Увеличение мощности радиопередатчиков и чувствительности принимающей радиоаппаратуры позволило за короткий срок «коснуться» радиолучом все более далеких небесных тел. Уже в 1964 г. была осуществлена в СССР (под руководством академика В. А. Котельникова), а также в Англии и США радиолокация планет Венеры, Меркурия, Марса и, наконец, более далеких от нас Юпитера и Сатурна.

Особенно большое значение имела радиолокация Венеры, позволившая определить расстояние до нее во время наблюдений и вычислить отсюда большую полуось ее орбиты с большей точностью, чем это уда-

валось сделать прежде астрономическими методами. Это дало более точное знание основной нашей «измерительной линейки» — расстояния от Земли до Солнца. Оно называется астрономической единицей расстояний (сокращенно а. е.), так как в этих единицах мы измеряем все расстояния во Вселенной. И раньше астрономы точнее всего определяли расстояние до Солнца, измеряя непосредственно расстояние до какого-либо как можно более близкого к нам небесного тела. Расстояние же от Земли до Солнца вычисляли отсюда, пользуясь тем, что большие полуоси орбит всех спутников Солнца связаны третьим законом Кеплера с периодами их обращения, определяемыми из наблюдений очень точно.

Теперь принятое значение астрономической единицы составляет 149 600 000 *км*.

Но возможности применения радиолокаторов оказались шире, чем просто определение расстояния между центрами Земли и планет. При достаточно узком пучке падающих радиоволн и при достаточной точности определения времени прохождения радиосигнала можно измерять расстояние до разных точек на поверхности планеты. Тем самым можно изучить ее рельеф — высоту гор, расположение низменностей и т. д., что особенно важно для планет, поверхность которых скрыта от нас облаками, плавающими в их атмосферах.

Характер сигнала, отраженного от планеты, зависит от степени гладкости ее поверхности. Если поверхность планеты гладкая, то, отражая сходно с зеркалом в нашу сторону, она отразит радиоволны только центральной частью обращенного к нам полушария. Отраженный сигнал будет иметь всплеск. Все видимое полушарие планеты отразит волны к радиолокатору лишь тогда, когда посланная радиоволна везде упадет на склоны гор, перпендикулярные к направлению ее падения. Тогда отраженный сигнал «размажется» во времени. Так можно оценивать и сравнивать среднюю степень гладкости различных планет. Кроме этого, радиолокатор позволяет... установить вращение планет вокруг оси.

Если планета вращается (но если ее ось не направлена при этом на наблюдателя!), то один ее «край» к нам приближается, а другой удаляется. По закону Доплера длина электромагнитной волны, идущей от этих краев, должна измениться: в первом случае уменьшиться, во втором — увеличиться. Длина волны, отраженной от центра, не изменится. В результате «ширина» отраженного сигнала, как интервал длин волн, или частот, будет шире, чем ширина посланного сигнала. Сигнал «размажется» по частоте и тем больше, чем быстрее линейная скорость вращения планеты. Так можно установить линейную скорость вращения, а зная размер планеты, можно вычислить и период ее вращения. Этим способом и удалось окончательно установить крайне медленное вращение Меркурия и Венеры. Прежние способы зарисовки пятен на их поверхности и спектральные методы были ненадежны.

Наконец, радиолокатор позволяет определять расстояния до «падающих звезд» — метеоров — и их скорость. Но об этом мы поговорим позднее.

Можно ли осветить Луну? Освещать Луну в полнолуние, конечно, незачем, она и так сама нам светит. Но можно ли осветить хотя бы кусочек ее неосвещенной стороны в новолуние? Ведь до Луны далековато? Оказывается, что осветить Луну теперь возможно, правда, не всю Луну, а только маленький кусочек ее и, конечно, не прожектором, а лазером. Лазер — это оптический квантовый генератор. Он в состоянии аккумулировать свет и превращаться как бы в световую бомбу, которая может затем мгновенно разрядиться и испустить свет в одном направлении. В газовом лазере используется баллон со смесью газов. Если добиться того, чтобы большинство атомов или молекул газа пришло в возбужденное состояние, то один возбужденный атом при возвращении в нормальное состояние вынудит разрядиться и другие атомы, так что создается лавинный процесс. Это вынужденное излучение распространится в ту же сторону, с которой падал вынуждающий свет. Лазеры уже приобрели многочисленные

научные и технические применения. При помощи больших телескопов свет лазера удалось послать и на некоторые точки неосвещенной части Луны и осветить их настолько сильно, чтобы это стало заметно в телескоп.

В 1970 г. самоходная советская лаборатория «Луноход-1» несла на себе французский лазерный отражатель, состоящий из серии посеребренных кварцевых призм. Лазерные сигналы, отраженные от них, принимались обсерваториями, находящимися во Франции и в Крыму. Лазерная локация Луны, при ее большой точности, позволит изучать дрейф земных континентов, движение земных полюсов и ряд вопросов космической геодезии и небесной механики. Световые сигналы, посылаемые лазером с вездехода, ползающего по ночной части Луны, позволят следить за ним с Земли (обычный прожектор был бы невидим).

## ЛОВЛЯ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Земная атмосфера на наше счастье задерживает губительные для жизни лучи высоких энергий, приходящие на Землю извне. Чем короче длина волны, тем бóльшую энергию несут с собой кванты электромагнитного излучения. Такими являются, в частности, рентгеновские лучи, обладающие, как вы знаете, огромной проницающей энергией. Однако и они на длинном пути в земной атмосфере теряют свою энергию при столкновениях с молекулами и атомами и, по крайней мере в своем первоначальном виде, до поверхности Земли не доходят. Между тем они представляют громадный интерес, так как связаны с внутриатомными процессами, и изучение их эмиссии помогает понять процессы в излучающих их телах, вскрыть глубже их природу. Еще более коротковолновые лучи, несущие еще больше энергии, выделяются, например, при радиоактивном распаде. Они называются гамма-лучами.

В 1962 г. счетчик квантов таких лучей, установленный на высотной ракете, обнаружил рентгеновский источник в созвездии Скорпиона. С конца 1970 г.

до начала 1975 г., всего за 5 лет, было открыто около 200 космических источников рентгеновского излучения. Эта новая область изучения электромагнитных лучей, идущих из Космоса, бурно развивается. В рентгеновских лучах изучается и наше Солнце.

Таким образом, вести из Космоса мы получаем теперь по всему диапазону электромагнитных волн. От оптических лучей к тепловым и далее к радиоволнам, а в другую сторону — через ультрафиолетовые лучи к рентгеновским лучам.

Другой вид лучей высоких энергий представляют собой «космические лучи», понимаемые сейчас более узко как «корпускулярные лучи» из Космоса. Это элементарные частицы, преимущественно протоны и электроны, выбрасываемые при каких-то мощных процессах со скоростями, приближающимися к скорости света. Поэтому их кинетическая энергия и пробивная сила колоссальны. Как известно, уже у границ земной атмосферы они представляют большую опасность для космонавтов при долгом облучении.

Частицы космических лучей за пределами земной атмосферы, как и рентгеновские лучи, изучаются теперь с искусственных спутников Земли.

Еще один способ изучения космических тел и процессов опирается на более старую технику. Это так называемая баллонная астрономия. При помощи связок воздушных шаров-баллонов удается поднимать в стратосферу и там стабилизировать довольно большие телескопы, преимущественно для наблюдения Солнца без атмосферных помех.

## ПО РОДНЫМ ОБСЕРВАТОРИЯМ

Русская астрономия, по праву гордящаяся своими выдающимися представителями, в прошлом имела скромную материальную базу, если оставить в стороне первоклассную широко известную Пулковскую обсерваторию.

На огромной территории Российской империи, кроме Пулковской обсерватории, изучали небо лишь несколько небольших университетских обсерваторий,

на которых редко работало больше чем по два-три специалиста — царское правительство не баловало науку и астрономию в частности.

Социалистический строй в корне изменил положение, и наша страна покрылась целою сетью крепостей, штурмующих тайны неба. Форпосты этих

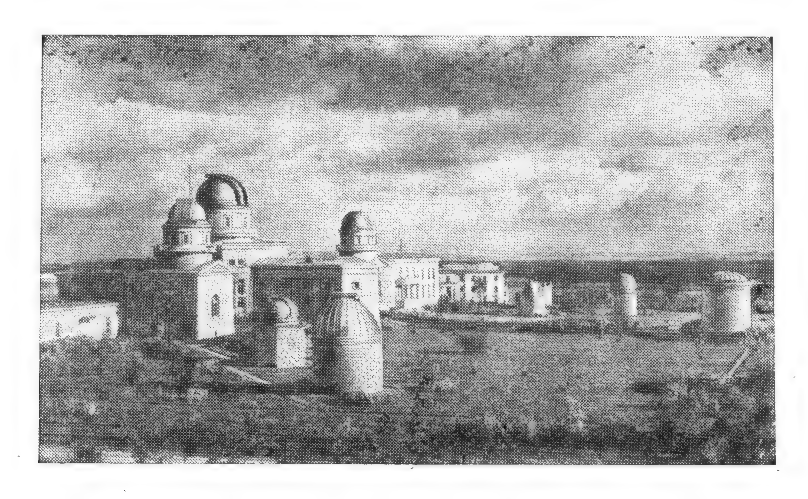


Рис. 23. Общий вид Пулковской обсерватории.

крепостей, выдвинутые в социалистическую эпоху далеко на юг старейшими ветеранами астрономической науки в Ленинграде и Москве, быстро превратились в хорошо оборудованные обсерватории братских республик. В бывших царских колониях и полуколониях, где зачастую не было ни одного астронома-специалиста, местные национальные кадры стали равноправными творцами науки о небесных глубинах.

Теперь Пулковская обсерватория обогатилась новыми приборами отечественной конструкции.

Здесь мы находим телескопы новых систем, изобретенные Максутовым и Слюсаревым, большой горизонтальный телескоп для изучения Солнца, новый

тип меридианного круга Сухарева, спектральные и фотоэлектрические приборы, мощные радиотелескопы и т. д. Вспомогательные лаборатории обсерватории необычайно разрослись.

Обсерватория старейшего Московского университета (иначе Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, или ГАИШ), в котором

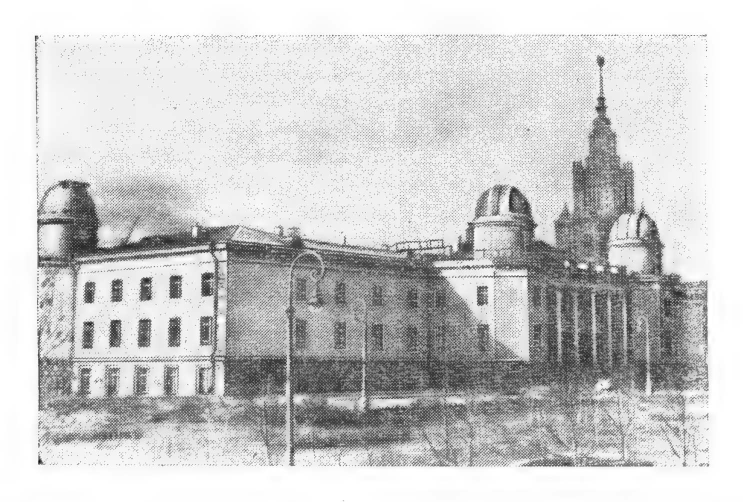


Рис. 24. Новое здание ГАИШ на Ленинских горах. Вдали высотное здание МГУ.

свыше полустолетия (с 1924 г.) протекала моя научная деятельность, в 1954 г. переехала в новое обширное помещение на Ленинских горах, расположенное неподалеку от замечательного высотного здания Московского университета. В Крыму, под темным южным небом с 1958 г. вступила в строй южная база МГУ, где установлены новые, большие телескопы до 125 *см* диаметром.

Разрушенная фашистами Крымская обсерватория Академии наук СССР в Симеизе восстановлена, и гораздо более обширная обсерватория выстроена вновь под Бахчисараем. Обе они объединены в Крымскую астрофизическую обсерваторию. С одной из

них открывается широкий вид на море и на утесы южного склона горного хребта Яйлы, а с другой — взором охватываются цепи гор северных склонов этого же горного массива. Там установлен рефлектор с зеркалом 2,6 *м*. Установлены прибор для киносъемки Солнца, светосильные мощные камеры и приборы для фотографирования ночного неба, радиотелескопы и многие-многие другие приспособления для «хирургического вскрытия» атмосфер небесных тел.

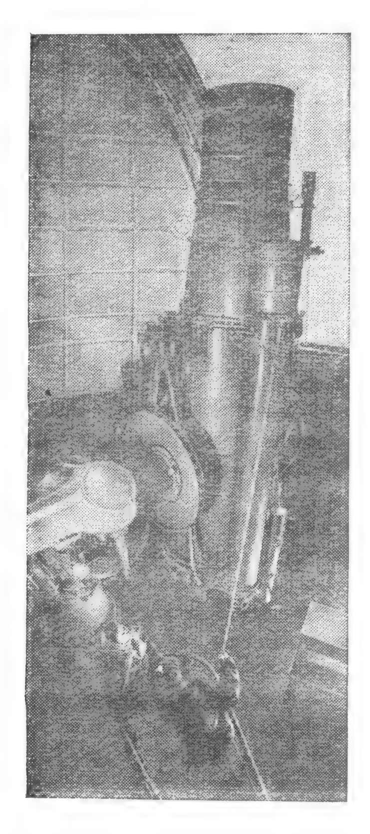


Рис. 25. 70-сантиметровый отражательный телескоп на обсерватории ГАИШ.

В предгорьях величественного Алагеза (иначе Арагаца) в Бюракане над Армянской долиной выросла обсерватория Академии наук Армянской ССР. Хорошо оборудованная, расположенная в южных широтах и на большой высоте, она является одной из лучших наших обсерваторий. Она также обладает рефлекторами с зеркалами диаметром в 1 и в 2,6 *м*. Последний, как и его близнец, — крымский, — наибольшие в Европе. Основным профилем этой обсерватории являются звездноастрономические работы.

Также в горах, на горном хребте Канобили, над знаменитым курортом Абастумани, недалеко от Боржоми, в Грузии, с каждым годом расширяется астрофизическая обсерватория, больше всего сделавшая для изучения цвета далеких небесных тел и для

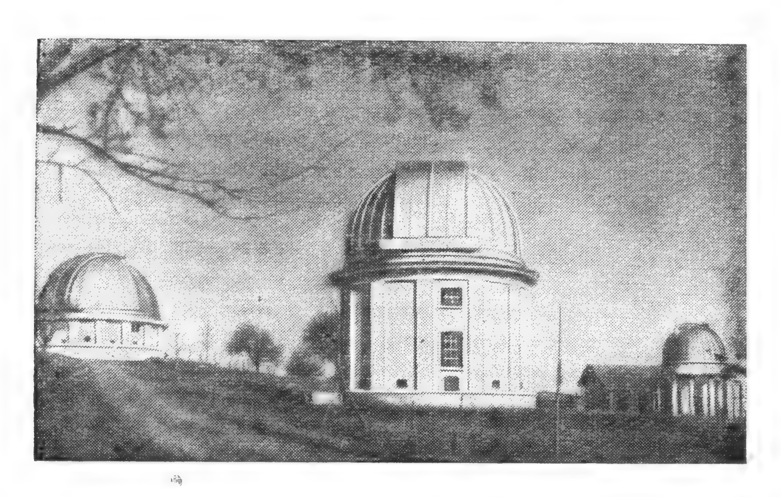


Рис. 26. Крымская астрофизическая обсерватория. На переднем плане — башня двойного астрографа; слева — башня 120-сантиметрового рефлектора

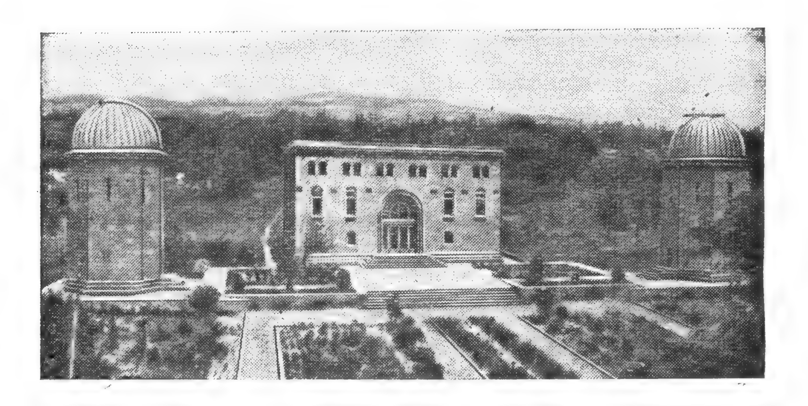


Рис. 27. Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армянской ССР.

изучения пыли в пространстве между звездами. Тут находится самый большой из телескопов системы Максутова с диаметром 70 *см*.

В Азербайджане, вблизи Шемахи, в 1967 г. вступила в строй новая обсерватория с двухметровым рефлектором и другими приборами.

На высоком горном хребте строится обсерватория, на которой установлен крупнейший в мире 6-метровый рефлектор, а внизу, в долине — огромный радиотелескоп.

Горная обсерватория у г. Алма-Аты в Казахстане успешно использовала телескоп Максутова с диаметром 50 *см* для установления тончайших деталей в облаках межзвездного газа.

Сильно разрослись или выстроены впервые университетские и другие обсерватории около Риги, Тарту, Харькова, Киева, Одессы, Казани, Николаева, Ташкента, Львова и другие. Многие из них имеют хорошие загородные филиалы. Базой для них является молодая, но бурно развивающаяся отечественная оптико-механическая промышленность, опирающаяся на рост тяжелой индустрии в нашей стране.

## «УМНЫЕ» ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

Человек уже научился делать планеты, притом планеты не такие, как создала природа. Планеты, созданные природой, носятся в пространстве глухие, немые, невидящие.

Человек же создал планеты, более всего сходные с астероидами по размеру и по характеру движения, но планеты «умные». Они «видят» и «говорят». Планеты, созданные человеком, и «слушают», так как принимают радиоизлучение небесных тел и радиосигналы, посылаемые к этим планетам с Земли.

В СССР и в США после второй мировой войны начались запуски высотных ракет с разными автоматическими приборами и с телеметрической передачей.

Такие ракеты, поднимающиеся в самые разреженные слои атмосферы, оставляют под собой не только все облака, но и слой газа озона, который поглощает

далекое ультрафиолетовое излучение светил и не позволяет изучать его. Даже эти кратковременные полеты ракет, снабженных автоматическими спектрографами и другими приборами, доставили нам много ценных сведений. Помимо данных о строении самой атмосферы, они, в частности, позволили впервые изучить далекий ультрафиолетовый спектр Солнца, его рентгеновское излучение и этим лучше понять его природу.

4 октября 1957 г. в СССР был запущен первый в истории человечества искусственный спутник Земли. Это было триумфом советской науки и техники, так как тут человек впервые преодолел тяготение Земли и создал искусственную луну,— не падающую вскоре вниз высотную ракету, а маленькую лабораторию, несколько месяцев кружившуюся вокруг Земли. За первой искусственной луной последовали дальнейшие, все возраставшего веса и все более богато оборудованные. Радиопередачи на Землю показаний приборов, установленных на спутниках, доставили много ценных сведений о строении верхних слоев земной атмосферы, о составе и энергии космических лучей, об излучении Солнцем ультрафиолетовых лучей и частиц вещества, несущихся с огромной скоростью.

В Советском Союзе 2 января 1959 г. впервые в мире был осуществлен запуск космической ракеты со станцией «Луна-1» на борту; последней ступени ракеты вместе со станцией была сообщена скорость около 11,2 *км/сек*, и она полностью вышла из области земного тяготения.

Освободившись от земного тяготения, станция продолжала движение уже под действием тяготения Солнца и стала описывать орбиту вокруг него как самостоятельная планета. Эта станция — планета более всего сходна с астероидами, особенно с теми малыми планетами, которые пересекают орбиту Земли. Ее период обращения 15 месяцев. Она будет теперь вечно обращаться вокруг Солнца, невидимая для нас, так как будет встречаться с Землей на расстояниях не менее миллиона километров.

4 октября 1959 г. третья космическая ракета СССР вывела на орбиту автоматическую межпланетную станцию «Луна-3», которая впервые сфотографировала невидимое с Земли полушарие Луны и передала эти фотографии на Землю после облета Луны.

Бурное развитие космонавтики — полетов в Космос, путь к которым указал наш великий соотечественник К. Э. Циолковский, тем станет поразительнее, чем лучше мы будем знать все технические трудности космических полетов. Только подумать, что всего лишь в 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли. С тех пор за два десятилетия в Космос запущены сложные автоматические лаборатории и обсерватории. Найден способ благополучного спуска их на Землю.

Автоматические межпланетные обсерватории летают, получив начальный импульс при помощи многоступенчатых ракет. Чем больше сообщенная им начальная скорость (а сообщить ее тем труднее чем больше ее масса), тем дальше от Земли они могут быть «заброшены», летя вперед и возвращаясь по эллиптической орбите. К 1975 г. межпланетные автоматические станции огибали планеты Венеру, Меркурий, Марс и даже Юпитер. Снабженные сложной аппаратурой, производящей различные измерения и фотографирование, такие станции доставили много сведений о планетах, частично перевернувших наши прежние представления о них. Некоторые межпланетные станции спускают на поверхность других небесных тел или выводят на орбиту искусственных спутников Луны и планет для длительного их изучения. Передача с них информации на Землю, с огромного расстояния, производится по команде с Земли путем телевидения. Наибольшими достижениями к моменту написания этих строк следует считать автоматическое взятие проб лунного грунта и его возвращение на Землю без человека, путешествия по Луне длительное время самоходных станций «Луноход-1» и «Луноход-2», также созданных в СССР, несколько высадок на Луну американских космонавтов и их поездки по Луне на луномобиле.

О научных результатах, полученных при различных запусках в Космос, мы расскажем дальше, а здесь отмечаем лишь сказочное развитие этого нового метода астрономических исследований, превращающего астрономию в частично экспериментальную науку. Это факт большого философского и практического значения.

Литература о том, как запускаются, управляются и летают космические станции и корабли, как они оборудованы, очень обширна, и мы отсылаем к ней наших читателей. Подчеркнем здесь только, что теория запуска и полета космических аппаратов прямо опирается на ранее изученные астрономией законы движения небесных тел. Это еще одно из практических применений астрономии к нуждам человечества.

## НАБЛЮДАЙТЕ И ИЗУЧАЙТЕ ВСЕЛЕННУЮ САМИ

Хотя большинство современных научных исследований и открытий требует обширной специальной подготовки человека, сложных и дорогих инструментов и обширной научной литературы на разных языках, на которых надо поэтому уметь читать, это не значит, что для творческой работы у любителя астрономии не осталось никаких возможностей. Тем более доступно каждому следить за небесными явлениями и на основе прочитанного в книгах уметь находить на небе интересные явления, замечать их подробности, а также правильно их понимать. Нужно только выбирать себе задачи по силам, соответствующие знаниям и возможностям.

Мне приходится очень много отвечать на письма читателей. Приятно бывает отвечать любознательному читателю, который хочет знать больше или описывает грамотно какое-либо явление, которое затрудняется понять правильно сам. Но бывают, к сожалению, случаи, когда человек горделиво заявляет, например, что закон тяготения неверен, а вот придуманный им (именно п р и д у м а н н ы й) закон является-де истиной. Удивительным образом такие

люди забывают, что закон тяготения проверен на протяжении веков множеством людей и проверен на практике. Например, наши космические корабли запускаются и достигают своего назначения, как все знают, на основе этого закона тяготения и его точной математической разработки. Законы же, выдуманные несведущим человеком, не позволяют ничего рассчитать и не подтверждаются никакой практикой.

Словом, самодеятельность любителя без необходимых знаний не может дать ничего в области теории. Грустно бывает читать письма, начинающиеся так: «Я имею только четырех- (или семи-) классное образование, НО я считаю, что такие-то теории неверны, а что дело обстоит так-то». Каждому понятно, что человек в пожилом возрасте не может вдруг взяться за исполнение роли в балете и не может сделать лучшую электронно-счетную машину, если никогда этим не занимался и не имеет для этого знаний и опыта. Но вот потому, что авторы популярных книг о сложных физических проблемах стараются рассказать понятно, некоторые думают, что они сами так же просто могут создать новую науку.

Но довольно о тех, кто становится на неверный путь и не отдает себе трезвого отчета о своих возможностях, а труд человечества недооценивает.

Каждый любитель может в телескоп, бинокль и даже невооруженным глазом увидеть и проследить то, о чем мы здесь рассказываем. Если нет телескопа, каждый может его сделать, имея терпение и желание. Небесные светила можно не только рассматривать, но и фотографировать. Можно фотографировать Луну, Солнце, затмения, кометы, перемещения планет, созвездия. Можно самому сделать фотографическую карту неба.

Многие любители получили за последние годы великолепные фотографии комет, имеющие огромную научную ценность. Среди любителей стало развиваться даже изготовление радиотелескопов, конечно, небольших. Некоторые любители, знакомые с радиотехникой, смогли даже осуществить посылку

радиосигнала на Луну и получить от нее отраженный сигнал.

Серьезную научную ценность могут иметь наблюдения так называемых серебристых, или ночных, светящихся облаков, визуальные, фотографические и радионаблюдения «падающих звезд» — метеоров. При наличии телескопа средней силы, даже самодельного, можно с пользой зарисовывать изменения на планетах. Можно наблюдать изменения блеска переменных звезд или открыть новую звезду, что обычно именно любителям и удается. Например, они открыли новую звезду в созвездии Лебедя в августе 1975 года. Это все области, для которых у специалистов-астрономов «не хватает рук» или времени.

Как все это делать, какую выбирать программу, мы, конечно, не можем здесь описать. И без того слишком о многом нам предстоит рассказывать. Но для этого есть специальные руководства и инструкции. Назовем для примера следующие книги: П. Г. Куликовский, Справочник любителя астрономии, изд. 4-е, «Наука», 1971; В. П. Цесевич, Что и как наблюдать на небе, изд. 4-е, Физматгиз, 1973; Астрономический календарь, Постоянная часть, изд. 6-е, «Наука», 1973.

Старайтесь и сами читать звездное небо — великую книгу природы, без чего ваше чтение не даст вам полного и правильного понимания прочитанного.

## КАК ДЕЛАЮТСЯ И КАК НЕ ДЕЛАЮТСЯ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ

Ни один научный факт или теория не получают окончательного, общего признания до того, как они будут проверены разными учеными. Наука отличается от ненаучного праздного фантазирования тем, что ее выводы каждый человек при желании может проверить сам. Есть тут, правда, два затруднения. Иногда какое-либо явление может наблюдаться только с помощью сложных и дорогих инструментов, и без них ничего не сделаешь. В других случаях, для того чтобы самому проверить до конца все расчеты,

надо иметь соответствующую научную подготовку. Надо, например, знать другие, твердо установленные астрономические факты, надо знать механику и химию, надо знать законы физики и уметь производить иногда очень сложные математические вычисления.

В нашей книге мы постараемся помочь любознательным людям познакомиться с тем, как ученые пришли к тем или другим выводам, но для этого не раз придется напрячь свою мысль, разобраться в чертеже, самому подумать. Тут уже ничего не поделаешь. Науки, основанные на математике и физике, нельзя, конечно, воспринять так же легко и без подготовки, как науку описательного характера, например, как популярную историю войны или как краткую географию СССР. Будем надеяться, что представители этих наук не обидятся на нас за это сравнение. Во всяком случае, они согласятся с тем, что их описания и выводы понятнее потому, что они имеют дело с явлениями, более знакомыми каждому и более очевидными, не требующими расчетов.

Многие представляют себе, что астрономические открытия делаются так: сидит человек у телескопа и вдруг видит в него новое светило с необычными свойствами, с какими-то движениями. Бывает, действительно, и так. Этим путем удается, чаще в результате специальных поисков, открыть внезапно вспыхнувшую «новую» звезду или комету, приблизившуюся к нам из глубин пространства. Часто это делается теперь в лаборатории по фотографиям неба. Но таким путем наука продвигается мало, а важные для науки открытия вытекают из систематического, иногда многолетнего изучения как этих, так и давно уже известных объектов.

Возьмем, например, открытие «быстро летящей» звезды. Такое открытие может быть сделано (а может и не быть сделано!) в процессе систематических исследований видимого перемещения звезд по небу. Здесь есть два пути: один из них — составлять в результате многолетних наблюдений на телескопе каталог звездных координат с максимальной точностью. Часами в ясные безлунные ночи отмечать (с точностью до сотых

долей секунды) момент прохождения звезды через вертикальную нить, видимую в поле зрения телескопа, а затем забираться в темноте на лесенку, чтобы отсчитать в несколько микроскопов по градуированному кругу угол между направлением телескопа и горизонтом. Несколько микроскопов нужны для исключения ошибок, вносимых не идеально точным изготовлением круга, разделенного на градусы и их доли, и крохотной неточностью делительной машины. А для фиксации момента делается отметка на непрерывно движущейся телеграфной ленте, на которой точнейшие часы, стоящие в подвале, электрически записывают секунды в виде черточек. Нужный нам момент определяется измерением под микроскопом точного положения отметки на ленте. Но ведь существует и ошибка в показаниях часов, и она постепенно меняется! Вот эту ошибку постоянно надо определять из наблюдений звезд.

Наконец каталог координат тысяч звезд составлен. Теперь надо сравнить его с каталогом, составленным *столь же точно* десятки лет назад, чтобы найти звезды с заметно изменившимися координатами —«летящие». Этот каталог составляли люди, которых, может быть, уже нет в живых. Они еще не могли использовать свой каталог для данной цели. Таким образом, астрономия в немалой мере живет прошлым и работает для будущего.

Более легкий путь: можно сравнивать не каталоги, а фотографии одних и тех же участков неба, полученные на *одном большом телескопе*. Но и здесь промежуток времени между снимками должен составлять десятки лет.

Всякое открытие опирается в большей или меньшей степени на труды других людей, на их успехи, на их неудачи, на их мысли. В наше время, чтобы сделать открытие, надо много учиться, много знать. В области наблюдений нужна обычно современная астрономическая техника, а в области теории — глубокое знание физики и математики.

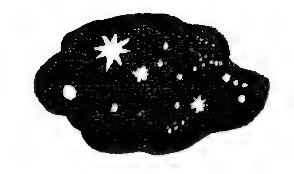
О науке написано много популярных книг. В них коротко и как можно проще стараются рассказать о сложных, иногда трудно понимаемых вещах, и потому некоторым читателям кажется, что научный

результат получается так же легко и просто, как о нем написано, стоит лишь порассуждать за чайным столом. Такое же впечатление могут произвести популярные рассказы о том, что по поводу некоторых недостаточно изученных вопросов один ученый думает так, другой иначе, третий — еще по-своему. Хотя такое различие мнений и бывает, они все научны. Но нельзя думать, что любой человек может высказать свое мнение и оно будет столь же ценно.

Надо внимательно разобраться, что́ в науке является установленным фактом и что́ является предположением. Например, законы движения небесных тел — это надежно установленные законы, позволяющие точно вычислять заранее положение и скорость каждого тела. Эти законы проверены множеством людей в разных странах на протяжении трех веков. Сейчас лучшей их проверкой является то, что по этим законам рассчитывают скорости запуска космических ракет и попадают ими в далекие, движущиеся планеты, в строго заданное место Луны.

К сожалению, наряду с миллионами людей, правильно понимающими развитие науки, есть еще сотни читателей, не понимающих этого.

Как правило, авторы таких безграмотных рукописей никогда не соглашаются с указанием ошибок и пересылают их от одного несчастного специалиста, вынужденного отвечать, к другому, а сами испытывают только разочарование...



# МИР ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА



## ЧАСТЬ 1

## *МИР ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА*

*С твердым веществом мы у себя на Земле знакомы больше всего, но в мировом пространстве оно встречается в гораздо меньшем количестве, чем газ. Однако твердое вещество сложнее по своей структуре, и жизнь требует под собой «твердой почвы».*

*Твердую кору имеют планеты (возможно, что не все и не всегда), твердыми являются маленькие ядра огромных газовых комет и мелкие небесные тела (вплоть до пылинок), носящиеся в мировом пространстве.*

*Перейдем же к знакомству с ними.*

Г Л А В А 1



# ГЛАВНЫЕ ЧЛЕНЫ СОЛНЕЧНОЙ СЕМЬИ

## ДАЛЕКИЕ ЗЕМЛИ — СПУТНИКИ СОЛНЦА

Земля — спутник Солнца в мировом пространстве, вечно кружащийся около этого источника тепла и света, делающего возможной жизнь на Земле. Вокруг Солнца кружатся и другие спутники — планеты Солнечной системы; на каждую из них солнечного тепла и света приходится больше или меньше, в зависимости от ее расстояния от Солнца, а расположены они в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Мы к Солнцу в сорок раз ближе, чем Плутон, и в $2^1/_2$ раза дальше, чем Меркурий. Почти в каждой книжке по астрономии есть описание наглядной модели Солнечной системы, где Солнце и планеты изображаются разными фруктами всевозможных размеров, а орбиты, т. е. пути планет вокруг центрального светила,— кругами разной величины. Нет нужды описывать всю такую модель снова. Главное ее назначение — показать сравнительные размеры планет и Солнца и помочь представить себе огромность расстояний между планетами в сравнении с их размерами. Ограничимся напоминанием, что если 149 600 000 *км*, представляющих (округленно) расстояние Земли от Солнца, и составляющих *астрономическую единицу* расстояний, изобразить в нашей модели длиной одного метра, то Солнце будет изображаться вишней, Земля изобразится пылинкой, меньше десятой

доли миллиметра, наибольшая из планет Юпитер — булавочной головкой, а наименьшие из планет Меркурий и Марс — пылинками, вдвое-втрое меньшими по диаметру, чем пылинка-модель Земли. Их даже не будет видно глазом. Кроме главных членов Солнечной системы, перечисленных выше, в солнечную семью входят спутники планет, в том числе Луна, сопровождающая земной шар и любезно его освещающая по ночам. Входит в нее и множество малых планет — астероидов, мелких и крупных комет, о которых речь будет впереди. Но еще меньше, чем астероиды, метеориты. Это камни всевозможной величины, преимущественно мелкие, носящиеся в мировом пространстве. Ежегодно некоторые из них падают на Землю.

В этой главе мы расскажем немного о больших планетах, но зато дальше мы расскажем много о малых планетах.

Бег планет вокруг Солнца и спутников вокруг своих планет близок к равномерному движению по кругу, но немного отличается от него, как нашел еще три столетия назад Кеплер, уточнивший великое открытие гениального польского ученого Коперника.

## ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

Кеплер открыл три закона движения планет, которые это движение вполне определяют. Он указал в первом законе, что планеты обегают Солнце по эллипсам, у которых один из двух фокусов непременно совпадает с Солнцем *). Во втором законе Кеплер говорит, что при движении планеты отрезок прямой, соединяющей планету с Солнцем, в единицу времени всегда описывает одну и ту же площадь. Третьим законом Кеплер установил, что квадраты времен обращения планет $P$ пропорциональны кубам их

*) Как известно, эллипсом называется кривая, сумма расстояний до любой точки которой от двух заданных точек (их называют фокусами эллипса) одна и та же.

средних расстояний от Солнца $a$, т. е.

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где значки 1 и 2 относятся к двум любым планетам.

Все эти три закона — следствие всемирного тяготения, как показал Ньютон. Они справедливы и для движения спутников вокруг своих планет и для движения любого тела под действием притяжения к другому. Только в некоторых случаях движение может происходить не по эллипсам, а по другим, уже незамкнутым кривым — параболе или гиперболе (см. рис. 30). Они также имеют фокусы, и главное тело всегда будет в фокусе такой орбиты. Если тело движется не по замкнутой орбите, то тогда, конечно, о периоде обращения нельзя говорить и третий закон Кеплера для таких орбит не имеет смысла. В случае же движения по эллипсу, как показал Ньютон, третий закон правильнее писать так:

$$\frac{P_1^2\,(M_1+m_1)}{P_2^2\,(M_2+m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Его можно применить к любым двум массам $M_1$ и $M_2$, из которых первая имеет спутник с массой $m_1$, обращающийся вокруг нее с периодом $P_1$ на среднем расстоянии $a_1$, а вторая масса $M_2$ имеет свой спутник массы $m_2$ с периодом обращения $P_2$ на среднем рас-

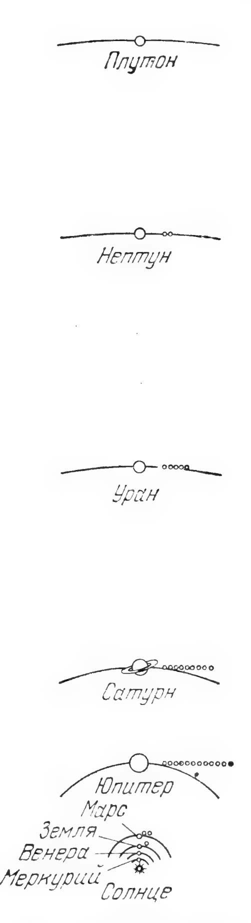



**Рис. 28.** Порядок расстояний планет от Солнца и их сравнительные размеры. Размеры планет по сравнению с расстояниями и между ними увеличены в 10 000 раз. Маленькими кружками схематически показаны спутники планет.

стоянии $a_2$. По этой формуле можно сравнить, например, движение Луны около Земли с движением Земли около Солнца или с движением спутника Нептуна около своей планеты. Если массы спутников ничтожно малы в сравнении с массами своих центральных тел, то ими в формуле можно пренебречь. Тогда, применяя ее, например, к двум планетам — спутникам Солнца, мы можем сократить массу Солнца в числителе и в знаменателе, и формула получит тот вид, в каком ее и дал сам Кеплер. Его формула — приближенная, но она достаточно точна для планет Солнечной системы, так как масса их всех, вместе взятых, в 750 раз меньше массы Солнца. Уточнение же, приданное ей Ньютоном, необычайно важно тем, что позволяет определять массы небесных тел, введенные им в формулу третьего закона Кеплера.

Притяжение планет друг другом невелико по сравнению с их притяжением к Солнцу, но оно вызывает отклонения в движении, несколько меняет вид и положение орбит. Эти отклонения называются *возмущениями*. На много лет вперед величину возмущений можно вычислить, зная массы взаимодействующих тел и их орбиты в некоторый момент.

Движение планеты легко себе представить, если знать форму и положение ее орбиты в пространстве, а также положение планеты на орбите в какой-нибудь момент. Величин, характеризующих эти данные, шесть, они называются *элементами орбиты*. Но для нас достаточно будет познакомиться только с четырьмя из этих элементов.

### ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТ

Размер орбиты характеризуется величиной *большой полуоси* эллипса $a$, выражаемой в астрономических единицах. На рис. 29 — это отрезок $OA$ или $O\Pi$, от центра эллипса до его вершины. Вершина эллипса $\Pi$, ближайшая к Солнцу $S$, называется *перигелием*; здесь планета ближе всего к Солнцу и движется всего быстрее. Противоположная, самая далекая от Солнца точка называется *афелием*.

Чем больше вытянут эллипс, тем больше различие между расстояниями планеты от Солнца в перигелии и афелии, тем дальше фокус эллипса отстоит от его

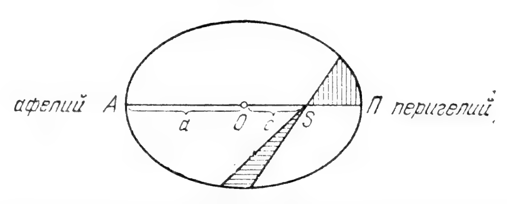



Рис. 29. Эллиптическая орбита планеты и второй закон Кеплера. Солнце находится в точке $S$.

центра $O$. Эту вытянутость эллипса характеризуют *эксцентриситетом* $e$, представляющим отношение расстояния от фокуса до центра к длине большой полуоси.

Для окружности $e=0$, а когда $e$ достигает единицы, то центр эллипса уходит в бесконечность. Иначе говоря, эллипс бесконечно растягивается, так что его ветви стремятся стать параллельными друг другу, и получается незамкнутая кривая, называемая *параболой*. Еще более разомкнутая кривая называется *гиперболой*; у нее $e$ больше 1.

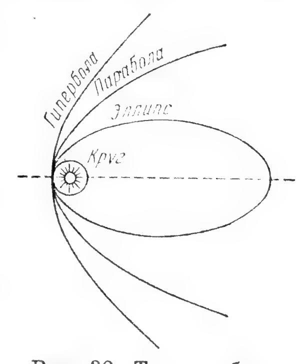



Рис. 30. Типы орбит.

Кратчайшее расстояние от Солнца до орбиты, т. е. до ее перигелия, называется *перигельным расстоянием*.

Третий элемент $i$ — это угол, под которым плоскость орбиты светила наклонена к плоскости земной орбиты (к эклиптике); он называется *наклонением*. Для планет, которые все движутся около Солнца в одинаковом направлении, наклонения орбит очень невелики. Если наклонение больше 90° (например, для некоторых комет), то это означает, что

направление обращения тела противоположно направлению обращения планет.

Четвертым элементом мы назовем какой-нибудь из моментов, когда светило проходит через перигелий. Его обозначим через $T$.

Эксцентриситеты орбит больших планет невелики, наибольшие у Плутона: 0,249, затем у Меркурия: 0,206. У Земли эксцентриситет орбиты всего 0,017, или $^1/_{60}$, и если начертить орбиту Земли с большой полуосью в целый метр, то малая полуось будет всего на $^1/_7$ *мм* меньше.

## КОСМОС В ОКРЕСТНОСТЯХ НАШЕЙ РОДНОЙ ПЛАНЕТЫ

Граница, за которой начинается космическое пространство, разными людьми понимается очень различно. Некоторые считают, что космическое пространство начинается уже на высотах 150—200 *км*, другие — что граница находится за пределами земной атмосферы. Но где кончается атмосфера — понятие такое же неопределенное: ведь она разрежается при удалении от Земли постепенно и незаметно переходит в межпланетную среду. Пространство между планетами в житейском смысле представляет полный вакуум, пустоту. Однако и в нем, кроме радиации (световых, тепловых и других лучей), имеются частицы газов, электроны и космическая пыль. Плотность всех этих частиц измеряется теперь на разных расстояниях от Земли и Солнца при помощи приборов, установленных на искусственных спутниках Земли и на межпланетных автоматических станциях. За несколько лет их запусков наши представления об окрестностях Земли существенно пополнились. В задачу нашей книги не входит описание земной атмосферы и методов ее исследования. Представление о ней нужно нам лишь для сравнения с другими планетами, и мы ограничимся немногими сведениями.

Обычные облака из водяных капелек или кристаллов льда сосредоточены в нижнем, конвективном слое воздуха, имеющем толщу от 8 до 15 *км*, в зависимости от условий. Так называемые ночные серебристые

светящиеся облака, представляющие весьма благодарную задачу для научных любительских наблюдений, плавают в атмосфере на высоте около 80 *км*. Лучи полярных сияний, представляющих собой электрическое свечение воздуха вследствие его бомбардировки быстрыми корпускулами, приходящими извне, простираются иногда до высот в сотни километров. Плотность верхних слоев атмосферы меняется значительно в зависимости от активных процессов, происходящих на поверхности Солнца, а также ото дня к ночи. На высоте 1500 *км* она в среднем составляет около $5 \cdot 10^{-18}$ *г/см*$^3$. Ощутимые еще следы атмосферы прослеживаются до высот более 3000 *км*.

Автоматические межпланетные станции и искусственные спутники Земли измеряли также плотность космической пыли на больших расстояниях от Земли. Ее свойства можно изучать также по тому, как она рассеивает свет Солнца, повышая яркость дневного неба. Пока размеры и концентрация космических пылинок мало изучены. Возможно, что Земля в целом и ее атмосфера тормозят движение космических пылинок и некоторые из них захватываются в плен. Часть этих пылинок, возможно, образовалась при взрывах, сопровождающих падение метеоритов на Луну.

Итак, в межпланетном пространстве носятся различные газовые частицы, молекулы и атомы. Кроме того, там носятся крупные камни-метеориты, более мелкие метеорные тела вплоть до космических пылинок. Но и это еще не все. Там странствуют и электрически заряженные частицы — протоны и электроны, также имеющие весьма разнообразные свойства. Под этими свойствами я подразумеваю различия в их кинетической энергии.

Самым замечательным открытием было, однако, открытие радиационных поясов Земли.

С помощью аппаратуры, установленной на искусственных спутниках и межпланетных станциях, было обнаружено существование вокруг Земли сильно сплющенного «облака» электрически заряженных частиц. Оно располагается вблизи плоскости магнитного экватора Земли. Внутри «облака» есть кольцевые

зоны — пояса с повышенной концентрацией частиц в единице объема. Эта электрическая земная «корона» простирается до восьми земных радиусов (до 50 000 *км*). Во внутреннем поясе наибольшая концентрация частиц достигается на высотах около

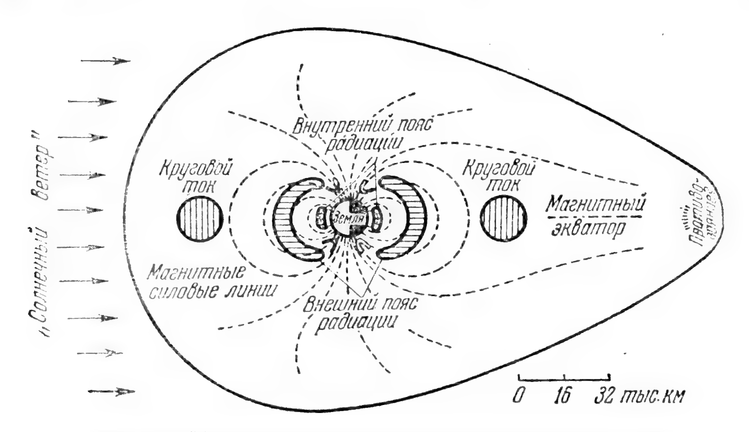



Рис. 31. Магнитосфера Земли и радиационные пояса.

10 000 *км*. Эти частицы в основном являются протонами. Внешний пояс шире и содержит электроны с энергией движения до 100 000 электронвольт.

Внутренний пояс образуется в результате разрушения атомов нашей атмосферы при ее бомбардировке космическими лучами. Космические лучи состоят из частиц, движущихся со скоростями, приближающимися к скорости света. Поэтому они обладают огромной разрушительной и проницающей силой. Приходят они к нам от Солнца и из далеких областей Космоса. Причина их возникновения окончательно еще не выяснена. Части распавшихся атомов атмосферы электрически заряжены и начинают двигаться в магнитном поле Земли вдоль его силовых линий. Магнитное поле Земли является ловушкой для таких частиц, и в ней они накапливаются.

Происхождение внешнего радиационного пояса, открытого советскими учеными при полете третьего спутника, пока еще не ясно. Какой-то околоземный

ускоритель частиц разгоняет их и действует усиленно, когда Земля попадает в корпускулярный поток, по временам срывающийся с поверхности Солнца.

Радиационные пояса представляют (помимо громадного научного интереса) опасность для космонавтов. Изучение структуры и поведения радиационных поясов имеет практическое значение для развития космонавтики.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДЫ ПЛАНЕТ И ЛУНЫ

Планеты — далекие земли, братья (если хотите, сестры) родной нам планеты — нашей Земли. Эти далекие земли — все же ближайшие к нам небесные тела в бесконечной Вселенной. В телескоп мы видим даже их диски и, например, Юпитер при увеличении всего около 50 раз виден таким, какой Луна кажется невооруженному глазу. Тем не менее, много загадок, не решенных поныне, хранит каждая из планет и, увы, знаем мы о них меньше чем о многих неизмеримо более далеких звездах. Спектр планет, отражающих свет Солнца и не имеющих своего света, почти тот же, что спектр Солнца. Это «почти» и дало нам то существенно новое, что прибавилось к науке о природе планет за последние десятилетия. Еще больше нового принесли радионаблюдения планет и Луны и посылка к ним автоматических межпланетных станций.

Много времени прошло, прежде чем астрономы убедились в том, что поверхности многих планет они не видят, а видят в телескоп лишь вечно изменчивые облака, окутывающие и скрывающие от нас эти поверхности. Так обстоит дело с Венерой, Юпитером, Сатурном, Ураном и Нептуном. Наличие облаков говорит, правда, о существовании мощных атмосфер у этих планет, особенно у четырех последних, но ничего не прибавляет к нашему знанию о том, как выглядят их поверхности. Облака эти, как паранджи персиянок, скрывают от нас лицо многих планет.

В области изучения планет явилась возможность измерить их температуру с помощью термоэлементов и других приборов, а также из наблюдений их радио-

излучения. Эти температуры относятся к видимой поверхности планет, т. е. в одних случаях к самой поверхности, а в других — лишь к определенным слоям их атмосферы. Данные о температуре планет в некоторых случаях в значительной степени заставили нас пересмотреть прежние взгляды на их физическую природу. Атмосфера играет большую роль в температурных условиях на планете. Плохо планете, у которой нет подобного атмосферного «плаща»!

На Земле днем облака и сам воздух предохраняют почву от чрезмерного нагревания, а ночью препятствуют отдаче накопленного тепла в мировое пространство. Температура дня и ночи при этом несколько выравнивается. Ясно также, что выравниванию температуры на поверхности способствует вращение планеты вокруг оси по отношению к Солнцу и тем сильнее, чем это вращение быстрее.

Спектральный анализ не может нам дать о планетах столько сведений, сколько он их дает о звездах, потому что планеты светят отраженным светом Солнца. Однако было бы неверно думать, что он вообще не может ничем нам помочь при изучении планет. Уже давно догадались, что, определяя из спектра по принципу Доплера скорость относительно нас двух противоположных краев планеты, можно узнать период вращения планеты вокруг своей оси. Так были окончательно установлены периоды вращения вокруг оси Урана и Нептуна.

Распределение энергии в непрерывном спектре планеты не является точной копией такового в спектре Солнца. Если планета, как часто, но неточно говорят, лишь отражает свет Солнца подобно зеркалу, то мы скажем, что это зеркало — кривое. В самом деле, распределение энергии в спектре планеты не то, что в спектре Солнца, поскольку поверхность всякой планеты, как и всякого вещества,— не идеальное зеркало, не идеально белая поверхность и поэтому не одинаково отражает лучи разной длины волны. Вообще говоря, поверхности красного цвета лучше всего отражают красные лучи; в спектре света, отраженного ими, красная часть спектра по сравнению с остальны-

ми будет поэтому ярче, чем в спектре источника света, освещающего эти вещества. Именно эта бо́льшая яркость красных лучей в их спектре и придает им красный цвет.

Как давно известно, газы состоят из молекул, хаотически движущихся со всевозможными скоростями. Средняя их скорость зависит от массы молекул и от температуры газа. Средняя скорость тем больше, чем меньше масса молекул и чем больше температура. С другой стороны, при достижении газовой частицей некоторой предельной, или *критической скорости* планета уже не способна удержать ее возле себя и не дать ей унестись в безвоздушное межпланетное пространство. Зная силу тяжести на поверхности планеты (растущую с массой планеты и быстро убывающую с увеличением ее диаметра), можно вычислить эту критическую скорость. Для Земли она составляет 11,2 *км/сек*, для Луны — 2,4 *км/сек* и т. д. Было подсчитано, с какой скоростью рассеивается атмосфера каждой планеты, и оказалось, что если бы у Луны и Меркурия когда-то были плотные атмосферы, то они должны были очень быстро рассеяться. Это объясняет, почему у этих небесных тел мы не наблюдаем атмосферы в настоящее время. Молекулы их атмосфер давно покинули своих слабосильных хозяев — Луну и Меркурий *). У нашей прекрасной соседки Венеры существование атмосферы, почти такой же плотной, как у Земли, было впервые установлено из наблюдений гениальным русским ученым М. В. Ломоносовым в 1761 г. У Марса, по теории и в соответствии с наблюдениями, атмосфера должна быть разреженнее земной.

У больших планет атмосферы чрезвычайно обширны. Притяжение больших планет способно удержать (тем более, что на их поверхности температура низка) даже самые легкие газы (такие, как водород), имеющие наибольшую среднюю скорость молекул.

---

*) С помощью приборов на космических аппаратах установлено, что на Меркурии и Луне есть следы слабой атмосферы, однако, такие «атмосферы» настолько разрежены, что не идут ни в какое сравнение с хорошо ощутимой атмосферой Земли.

Из атмосферы же Земли газы с наиболее легкими молекулами легко улетучиваются. Отдельные молекулы, покидающие атмосферы Юпитера и Сатурна, так малочисленны, что их убыль практически до сих пор не успела сказаться сколько-нибудь заметно.

Спектр планет, имеющих атмосферу, отличается от спектра Солнца не только распределением энергии вдоль него. Атмосфера планеты как бы накладывает на спектр свой грим — она вызывает в нем появление новых темных линий и полос. То же происходит и в атмосфере Земли. Действительно, проходя через атмосферу Земли, свет Солнца поглощается молекулами тех газов, которые в ней есть; это вызывает в спектре Солнца появление характерных для этих газов темных линий. В спектре Солнца, наблюдаемого нами сквозь земную атмосферу, есть линии, принадлежащие атмосферным водяным парам, кислороду и азоту. Эти линии, называемые *теллурическими*, можно отличить от линий, принадлежащих самому Солнцу, потому что теллурические линии усиливаются по мере приближения Солнца к горизонту и увеличения толщи атмосферы, пронизываемой его лучами. Другой способ основан на том, что в спектре края Солнца, благодаря его вращению, линии смещены вследствие эффекта Доплера, теллурические же линии занимают нормальное положение.

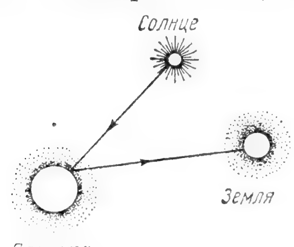


Рис. 32. Путь солнечных лучей, отражаемых планетой к Земле. Атмосферы планеты и Земли показаны точками.

Свет Солнца пронизывает атмосферу планеты и, отразившись от ее поверхности, пронизывает атмосферу ее еще раз, прежде чем попадет на Землю. Дополнительное поглощение солнечного света молекулами планетной атмосферы вызовет усиление теллурических линий по сравнению с непосредственно полученным спектром Солнца либо появление новых линий в спектре, если данного газа планетной атмосферы нет в атмосфере нашей Земли.

## СТАРОЕ И НОВОЕ О НАШЕМ ВЕЧНОМ СПУТНИКЕ

Человек тогда оценивает новые сведения, когда ему уже известны старые. Но не могу же я, желая рассказать о новых открытиях, излагать здесь то, очень многое и очень интересное, что мы уже раньше знали о Луне, о нашем вечном спутнике. Но я надеюсь, дорогие читатели, что основное вы знаете. Вы, конечно, знаете, что Луна меньше Земли в четыре раза по диаметру, в 81 раз меньше нее по массе и что сила тяжести там в шесть раз меньше. При прыжке вверх мы бы с вами поднялись там в шесть раз выше (конечно, без скафандра!) и падали бы гораздо медленнее. Теперь уже каждый знает, что Луна повернута к Земле всегда одной и той же стороной и еще совсем недавно никто не надеялся узнать, как выглядит обратная, невидимая с Земли сторона Луны. Правда, фантазий романистов на эту тему было много, а ученые уже давно признали, что общий ее характер должен быть очень сходен с характером видимого полушария. Там также не должно быть ни воды, ни атмосферы, а горы должны быть также преимущественно в виде круглых цирков и кратеров.

Диаметры лунных кольцевых гор несравненно больше в сравнении с высотой окружающего их вала, чем у кратеров земных вулканов. Отсутствие плотной атмосферы — участь всех небесных тел с небольшой силой тяжести на поверхности. Они не могут удерживать летучие газы. А чем сила тяжести больше, тем выше и плотнее может быть атмосфера.

Казавшаяся несбыточной мечта увидеть невидимое с Земли полушарие Луны была осуществлена всего лишь через два года после запуска в СССР первого искусственного спутника Земли.

Автоматическая станция «Луна-3», запущенная в СССР 4 октября 1959 г., обогнула Луну и в течение 40 минут фотографировала ту ее сторону, которую человек никогда не видел. Не менее замечательным успехом было и то, что телевизионные изображения с автоматически проявленных фотографий были затем по команде переданы на Землю.

Выполнение описанной задачи и сейчас представляется поразительным, между тем с тех пор радио- и телепередачи производятся (и даже более высокого качества) с расстояний до Юпитера, т. е. более 600 млн. *км*! Таковы сказочно быстрые успехи радиотехники.

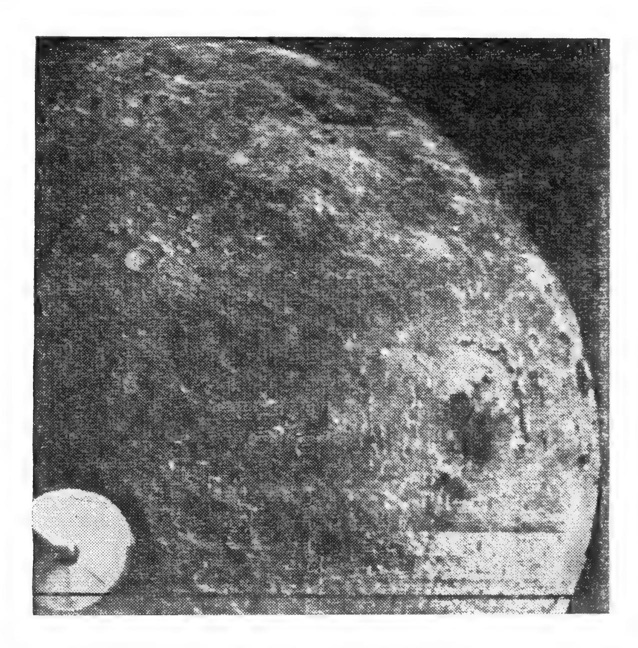


Рис. 33. Фотография обратной стороны Луны, полученная советской межпланетной станцией «Зонд-3» 20 июля 1965 г.

Для съемки невидимой нам стороны Луны вместе с частью известной уже поверхности фотокамеры станции надо было в определенный момент направить точно на Луну. Надо было ориентировать станцию в пространстве, так как по ряду причин она всегда вращается. Это было достигнуто специальной системой станции.

Заснять часть известного уже полушария Луны тоже было необходимо, чтобы при составлении карты

к ней можно было «привязать» положение новооткрытых деталей.

В дальнейшем Луну атаковали приборы, падавшие на ее видимое полушарие и разбивавшиеся, но успевавшие передать по телевидению картину приближающейся поверхности. Затем Луну стали облетать в

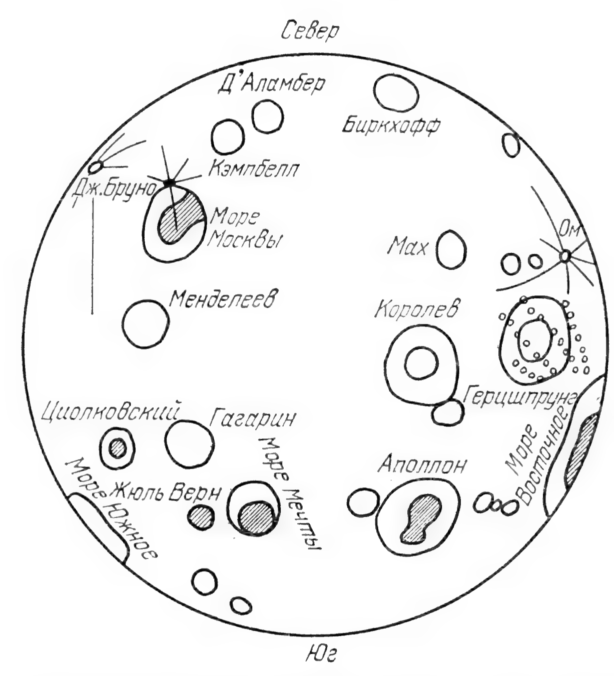



Рис. 34. Схематическая карта обратной стороны Луны с названиями крупнейших деталей.

разных направлениях ее искусственные спутники, фотографировавшие ее с разных расстояний и со всех сторон. В результате была составлена карта обоих полушарий Луны с подробностью и точностью большей, чем карты многих районов Земли. Выяснилось, что «морей» — углублений с темной поверхностью, созданных проплавлениями лунной коры и излияниями глубинных пород — базальтов, на обратной

стороне меньше, чем на видимой, а кратерами она усыпана так же, как сторона, обращенная к Земле. Новое, что было обнаружено на обратной стороне Луны,— это большие круглые понижения, но со светлым

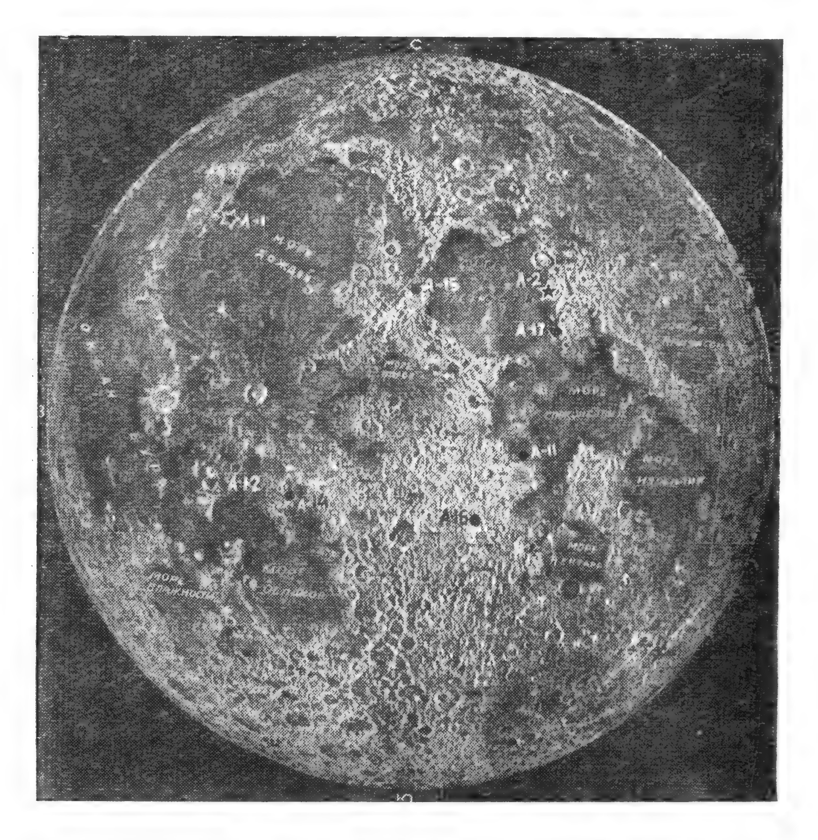



Рис. 35. Фотографическая карта видимого полушария Луны. Кружками отмечены 5 мест высадки космонавтов («Аполлон»), а звездочками — места высадки «Лунохода-1» и «Лунохода-2».

дном, названные *талассоидами* (мореподобными). Названия кратерам на обратном полушарии Луны были даны по согласованию между учеными разных стран; по традиции они были названы именами выдающих-

ся ученых. Так, на Луне есть кратеры Платон, Архимед, Коперник и другие. Из кратера Тихо (в честь датского астронома Тихо Браге) в южном полушарии Луны, 60 *км* диаметром, во все стороны строго по радиусам почти до половины видимого полушария распространяются светлые лучи. Это тонкий слой вещества, выброшенного из кратера при его возникновении. В этих местах обнаружены скопления мелких кратеров.

На обратной стороне Луны мы встречаем более современные нам имена: Море Москвы, кратеры Королев, Циолковский, Жюль Верн, Эдиссон, Герцшпрунг, Менделеев, Гагарин и многие, многие другие. Подобно земной коре лунная кора формировалась посредством чередовавшегося горообразования и опускания обширных областей, заливаемых расплавленной каменистой массой (магмой), поступавшей из недр и родственной излияниям лавы из вулканов. На лунной коре есть складки — горные цепи. Полагают, что многие крупные лунные кратеры образовались при вулканических процессах. Их напоминают гораздо меньшие по размеру лавовые озера с относительно невысокими краями, находящиеся на Гавайских островах. Ведь на обычные вулканы лунные кратеры совсем не похожи, хотя в центре некоторых из них есть крутые конусы, более похожие на вулканы.

Луна признана мертвым миром, на котором не замечается признаков жизни и даже геологических изменений. (Правильнее было бы назвать их селенологическими, так как «ге» — по-гречески Земля, а «селена» — Луна.) Поэтому особый интерес заслуживает наблюдение пулковского астронома Н. А. Козырева. При фотографировании спектра лунного цирка Альфонс Козыреву посчастливилось наблюдать явление, которое, по-видимому, похоже на вулканическое извержение. 4 ноября 1958 г. он обнаружил, что на некоторое время центральная горка этого кратера покраснела и в ее спектре наблюдались полосы излучения молекул углерода. По-видимому, произошло извержение паров углерода в безвоздушное

пространство вокруг Луны, которые засветились под действием лучей Солнца так же, как они светятся в головах комет. Такие явления на Луне, несомненно, очень редки и подстеречь их очень трудно.

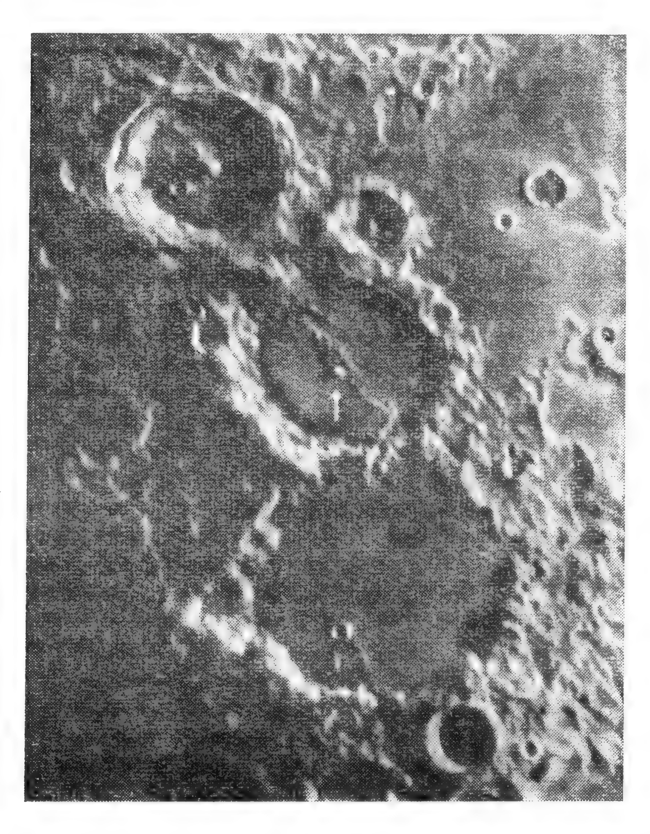


Рис. 36. Лунные цирки. Сверху вниз: Птолемей, Альфонс и Арзахель. Стрелкой отмечена центральная горка Альфонса, возле которой наблюдался выброс газа.

Число кратеров тем больше, чем они меньше. Так, на десяток кратеров диаметром более 100 *км* приходится около двухсот между 20 и 50 *км* и более 600 от 5 до 20 *км*. Самые мелкие подробности, различимые

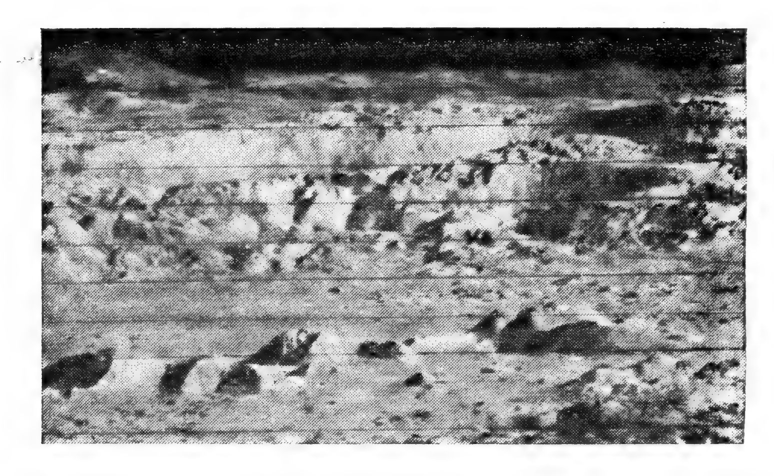


Рис. 37. Внутренний вид кратера Коперник и его центральной «горки», снятый с искусственного спутника Луны «Орбитер-2» с высоты около 50 *км*.

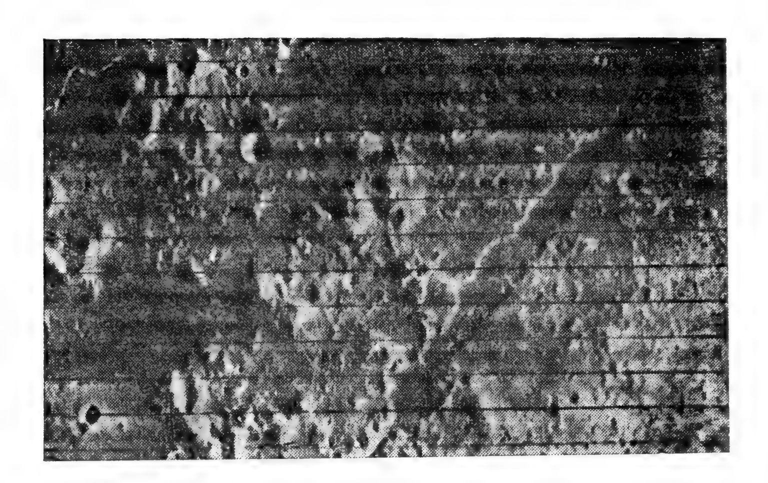


Рис. 38. Фотография лунных Альп и Альпийской долины с трещиной вдоль нее с искусственного спутника Луны «Орбитер-4».

с Земли в наибольшие телескопы, имеют размеры немногим меньше километра. Местами обнаружены кратеры среднего размера, расположенные в виде цепочек длиной до 600 *км*. На Земле вдоль так называемых поясов разлома земной коры вулканы так же располагаются цепями, но отстоят друг от друга далеко и их мало.

При наблюдении Луны в телескоп при косом освещении ее солнечными лучами горы отбрасывают длинные тени. Захватывающее зрелище открывается наблюдателю, замечающему, как под лучами, восходящего Солнца, загораются лунные вершины, достигающие 8 *км* высоты, и как они постепенно вырастают из мрака. Луна не только крайне гориста, но и сплошь усеяна острыми обломками скал и камней, так что по ней транспорту передвигаться будет крайне трудно. Этого можно было ожидать. В самом деле, на Луне нет воздуха и воды, которые сглаживают и разрушают горы и скалы, делают их более пологими и округлыми. Но... с другой стороны, на Луну должна оседать пыль, поступающая из космического пространства. Такая метеоритная пыль поступает и на Землю. Но при большой скорости пылинок (десятки километров в секунду) они испаряются, когда их движение тормозит сопротивление воздуха. Лунным кратерам нет предела по размерам и самые мелкие из них, диаметром до полуметра(!), усеивают всю поверхность даже на дне кратера Альфонс, а ведь дно кратеров кажется в телескоп ровным по сравнению с гористыми областями.

Обнаружилось, что у небольших кратеров в десятки метров диаметром часто не бывает высокого вала, круто обрывающегося внутрь, или же он имеет высоту лишь несколько метров. Не только внешний, но и внутренний край пологи, как будто их размыла вода (действие водной эрозии). Но ведь на Луне воды нет! Несомненно, что древние кратеры сглажены ударами метеоритов — камней, падающих на Луну из Космоса. Их удары не смягчены действием атмосферы, как на Земле. За миллионы лет мелкие метеориты как бы обточили края древних кратеров. Воз-

никшие из них позднее более мелкие кратеры менее разрушены, их воронки круче, тогда как некоторые древние превратились просто в пологие углубления без вала. В противовес вулканической гипотезе образования лунных кратеров давно возникла гипотеза, что кратеры образовались на Луне в древности при

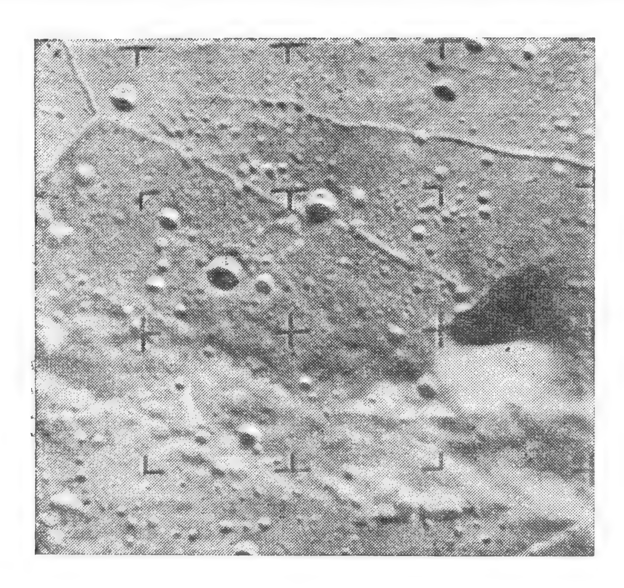


Рис. 39. Пик кратера Альфонс, отбрасывающий треугольную тень, и лунные трещины.

падении крупных метеоритов, быть может, тех, из которых путем столкновения и слипания по некоторым гипотезам еще раньше возникли сами планеты. Падая со скоростью нескольких километров в секунду, метеориты должны взрываться и образовывать, как бомбы, воронки размера гораздо большего, чем они сами. Полученное свидетельство обточки метеоритами древних кратеров не объясняет закономерностей в расположении лунных образований. Они не объяснимы случайными падениями метеоритов, а указывают на связь с подкорковой деятельностью

лунных недр. К этим вопросам мы еще вернемся в разделе «Небесные бомбардировки». Многочисленные лунные «трещины», давно уже обнаруженные в телескоп, в действительности являются длинными долинами, шириною менее 1 *км* с очень **пологими** краями. Это края древних трещин коры, сглаженные метеоритной эрозией и засыпанные обломками. С другой стороны, местами «трещины» превращаются в цепочки мелких кратеров, сливающихся друг с другом. Их могла создать вулканическая деятельность, проявлявшаяся вдоль разлома лунной коры, где вулканические силы легче находили себе выход.

Лично я думаю, что округлые лунные моря и, по крайней мере, крупные лунные кратеры созданы вулканическими проплавлениями лунной коры, а метеоритные удары в основном лишь сглаживали рельеф, производя преимущественно мелкие кратеры. Да и в наше время в окрестностях Земли метеориты встречаются тем реже, чем они больше.

А что мы можем сказать о пыли на Луне? В 1966 г. на Луну впервые в мире произвела мягкую посадку советская автоматическая станция «Луна-9», доставив туда в целости все приборы. «Луна-9» передала на Землю первые круговые панорамы окружавшего ее ландшафта. Станция «Луна-9» дала первую возможность оценить прочность лунного грунта. Он оказался достаточно прочным для того, чтобы станция не погрузилась заметно. Между вторым и третьим сеансами передачи панорамы произошел сдвиг станции. Значит, грунт под ней осел, но толстого слоя пыли на нем не оказалось.

Поверхностный слой Луны, называемый *реголитом*, имеет пористую структуру. Он образовался из раздробленного метеоритами первоначального слоя Луны, перемешанного с метеоритами и спекшегося от нахождения в вакууме.

Нелегко приспособиться и к крайне резким колебаниям температуры. Ведь день на Луне тянется две наши недели и за это время ее поверхность на экваторе в полдень накаляется до 125°С. Зато за двухнедель-

ную лунную ночь температура падает до 150° мороза! На Земле атмосфера, как заботливая няня, укутывает ее от потери тепла в мировое пространство, а днем умеряет солнечные лучи. Мы, астрономы, часто клянем земную атмосферу как помеху, но без нее мы не могли бы жить. Она нас спасает от губительного ультрафиолетового излучения Солнца. Крайне малая теплопроводность лунных пород обусловливает то, что во время лунного затмения, когда на Луну падает тень Земли, всего за час температура

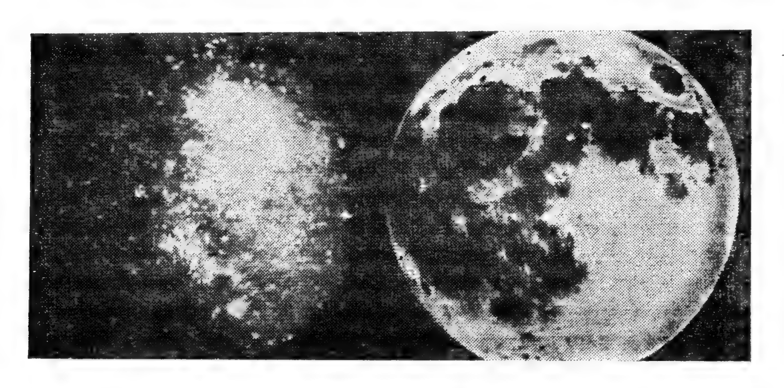


**Рис. 40. Горячие пятна на Луне.**

меняется на 225°! Такое быстрое изменение объясняется тем, что верхний слой Луны порист, напоминая строением пемзу.

В первые десятки минут тепло теряется лишь из самого наружного слоя толщиной в несколько миллиметров, поскольку теплопроводность лунита очень мала.

Только в пунктах, где теплопроводность грунта велика, приток тепла из глубоких слоев препятствует быстрому остыванию, и поверхность остается некоторое время более теплой, чем в окружающих областях. При наблюдениях лунных затмений приборами, чувствительными к инфракрасным лучам, было открыто несколько сотен «теплых» точек, неравномерно рассеянных по Луне. В них температура

выше, чем в их окрестностях, и, в частности, выше, чем в кратере Тихо, на 48°. На приводимом рисунке сопоставлены виды Луны в визуальных лучах (справа) и в инфракрасных лучах (слева), где теплые точки выглядят более яркими. Среди них кратеры Тихо, Коперник, Кеплер, но в большинстве случаев это мелкие кратеры в несколько километров диаметром, притом выглядящие яркими в полнолуние или имеющие яркие лучи. На материках их даже меньше, чем на дне морей, где кратеров очень мало. Среди них много молодых кратеров. Сходные по виду кратеры часто бывают сильно отличающимися по интенсивности тепловыделения. В чем причина этого различия, еще не выяснено.

Радионаблюдения наших радиоастрономов в Горьком (группа В. А. Троицкого) позволили проникнуть под видимую поверхность Луны. В радиоволновом диапазоне колебания температуры на Луне оказались гораздо меньше, чем в инфракрасных лучах; это означает, что радиоволны идут из более глубоких слоев.

Горьковские радиоастрономы заключили, что температура лунита растет с глубиной и что плотность вещества глубже 4 *см* близка к 1 *г/см*$^3$. Впоследствии это подтвердилось.

Чешский астроном Линк указывал на возможность люминесценции некоторых участков Луны под действием корпускулярного облучения их Солнцем. Копал и Рэкхем в 1963 г. действительно наблюдали на французской высокогорной обсерватории Пик-дю-Миди флуоресценцию вблизи кратера Кеплер. За два часа в красных лучах яркость этой области увеличивалась вдвое два раза. Перед этим на Солнце произошла вспышка. Электрически заряженные частицы — корпускулы, выброшенные при вспышке, по-видимому, достигли Луны за 8 часов и своей бомбардировкой вызвали дополнительное свечение лунной поверхности.

Таким образом, астрономам удалось еще с Земли «проникнуть» под видимую поверхность Луны, свойства которой мы все еще знаем недостаточно. Стан-

ции, опустившиеся на Луну, подтвердили возможность высадки космонавтов на Луне. Обеспечение возвращения их на Землю гораздо более трудная задача.

### ПЕРВЫЕ ЛЮДИ НА ЛУНЕ И ЛУНОХОДЫ *)

Кто из нас не увлекался фантастическим романом Герберта Уэллса «Первые люди на Луне», а также другими художественными произведениями о полетах на Луну. Но вот наконец эта фантазия стала былью, притом в фантастически короткий срок после того, как впервые советский искусственный спутник Земли преодолел земное тяготение. В июле 1969 г. двое американских космонавтов в космическом корабле «Аполлон-11» опустились на Луну. Впервые нога человека ступила на другое небесное тело. Это событие было принципиально важно в двух отношениях. Во-первых, человек буквально оказался «на небе», если вспомнить представления наших предков (а эти представления перешли и в нашу современную речь). Во-вторых, эта высадка космонавтов дала возможность устанавливать на Луне различные приборы, в частности сейсмографы, и производить на ней всякие эксперименты непосредственно. С тех пор произошло еще пять посадок на Луну, выходов космонавтов на ее поверхность, их передвижений, наблюдений на нашем спутнике и благополучных возвращений на Землю.

В общей сложности космонавты пробыли на Луне около 300 часов, из которых 80 часов они находились вне кабины в безвоздушном пространстве. Космонавты в это время ходили по Луне, фотографировали, снимали кинофильмы, собирали лунные породы.

Они передавали на Землю картины лунных ландшафтов и свою деятельность по телевидению. Для защиты от безвоздушной среды и от вредного

*) Условия пребывания человека на Луне рассмотрены более подробно в брошюре Г. П. Вдовыкина «Экзобиология Луны», «Наука», 1975.

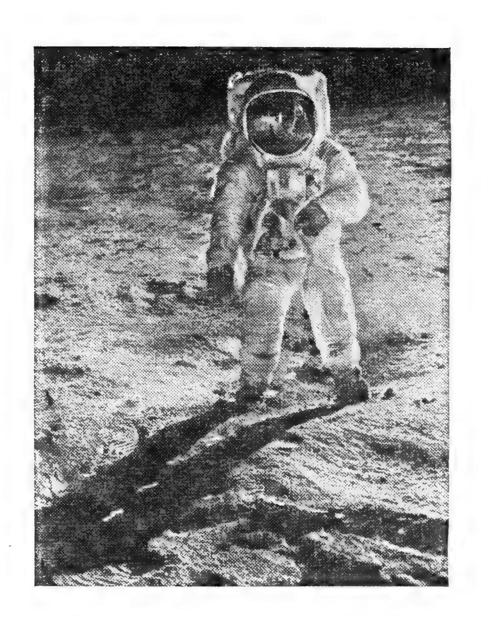


Рис. 41. Космонавт на Луне.

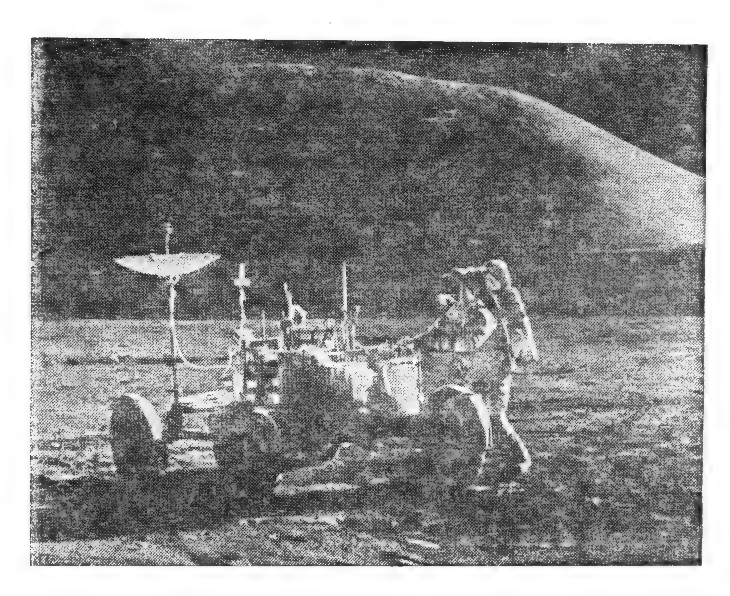


Рис. 42. Космонавт с луноэлектромобилем на Луне.

воздействия коротковолнового и корпускулярного излучения Солнца и других небесных объектов космонавтов одевают в специальные скафандры. Космонавты нашли на Луне один из автоматических аппаратов, совершивших посадку ранее, а его части и многочисленные пробы лунного грунта привезли с собой на Землю для их всестороннего анализа. При последних высадках на Луну космонавты применяли для езды по ней электромобиль. На Луну спускался лунный отсек с двумя космонавтами, а третий космонавт оставался в основном блоке, двигавшемся по орбите искусственного спутника Луны. Затем два космонавта стартовали с Луны во взлетной ступени (части лунного отсека), взлетная ступень переходила на орбиту искусственного спутника Луны, стыковалась с основным блоком и космонавты переходили в основной блок. После этого взлетная ступень сбрасывалась на Луну, а космонавты в основном блоке возвращались на Землю. Полеты на Луну космонавтов и автоматических станций, а также получаемые ими новые результаты накапливаются так быстро, что всякая книга отстает от них. Поэтому мы вынуждены просить наших читателей за более подробной и точной информацией обращаться к периодике. Здесь же мы вынуждены ограничиться лишь общей краткой характеристикой завоевания Космоса.

В частности, необходимо подчеркнуть замечательные успехи советской автоматики. Советская автоматическая станция «Луна-16» опустилась на Луну в Море Изобилия, по команде взяла пробу лунного грунта и вернулась на Землю. Позднее подобная станция «Луна-20» доставила на Землю пробу из типичного материкового (горного) района Луны, куда космонавты попасть не смогли. С 17 ноября 1970 г. в течение $10\frac{1}{2}$ месяцев на Луне в Море Дождей работала советская автоматическая станция «Луноход-1». На своих оригинальных колесах она обследовала 80 000 $м^2$ лунной поверхности, в сотнях точек изучила физикомеханические свойства грунта, а в 25 точках произвела химический анализ его состава.

Телевизионные установки «Лунохода» (движением которого управляли с Земли) передали на Землю свыше 200 панорам и 20 000 фотографий поверхности нашего спутника. Лазерный отражатель, установленный на верхней части «Лунохода-1», позволял точно определять расстояние до него путем измерения времени распространения света лазера.

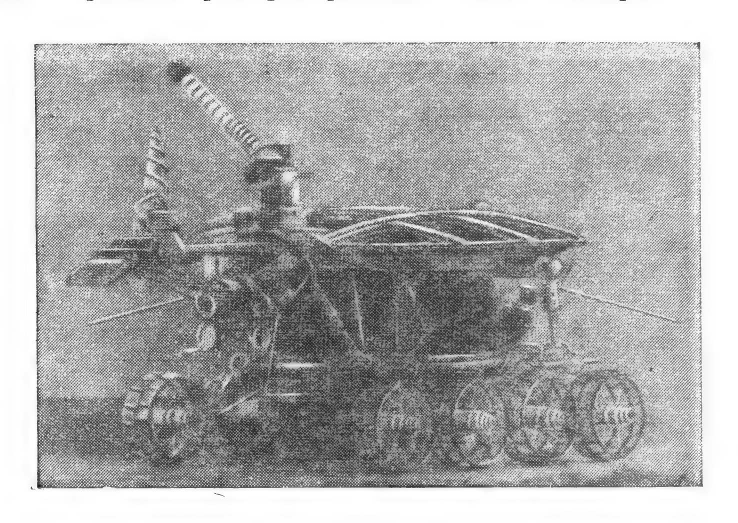


Рис. 43. «Луноход-1».

В 1973 г. в море Ясности, на дне кратера Лемонье диаметром 55 *км* был высажен «Луноход-2». Он прошел за 5 лунных суток ($4\frac{1}{2}$ месяца) 37 *км*, почти вчетверо больше, чем «Луноход-1», изучая рельеф и свойства грунта.

Научные материалы, добытые всеми этими средствами, громадны и не все еще достаточно обработаны, сравнены, обсуждены и поняты.

Пробы грунтов позволили изучить химический, минералогический и петрографический состав разных мест Луны. С одной стороны, мы убедились непосредственно, что между Землей и Луной нет принципиального различия. И здесь и там содержатся одни и те же

химические элементы и минералы, в сходных пропорциях, но есть на Луне и отличия от того, что известно на Земле, и есть различия состава лунного грунта от места к месту. Возраст лунных образцов составляет от 3,1 до 4,2 млрд. лет, а, в общем, возрасты Луны и Земли почти равны (не менее 4,6 млрд. лет).

Судя по доставленным на Землю образцам, лунный реголит представляет собой рыхлое вещество

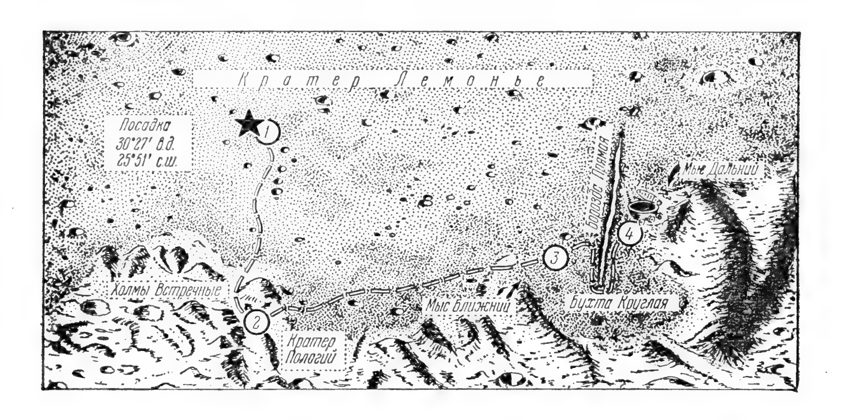



Рис. 44. Схема движения «Лунохода-2».

с плотностью около 1 *г/см*³, состоящее из обломков кристаллических пород и шариков природного стекла с примесью тонкозернистого цементирующего вещества и с застывшими микроскопическими газовыми пузырьками. Это — продукт переработки открытой поверхности коренных пород в условиях вакуума под действием внешних условий: метеоритной бомбардировки, облучения и резкой смены температуры в течение невообразимо длительных сроков. Толщина реголита в различных участках посадки на Луну космических аппаратов — от нескольких метров до нескольких десятков метров. Реголит не имеет резкой нижней границы, а постепенно переходит в подстилающие коренные породы. В наружных слоях

реголита сосредоточено наиболее сильно переработанное вещество, в средних слоях встречаются многочисленные мелкие обломки, а в нижних включены крупные глыбы коренных пород, на которых и лежит слой реголита. Коренные породы, как выяснилось в результате исследования доставленных образцов, представляют собой два типа продуктов вулканических извержений: на равнинах Луны это так называемый базальт, с плотностью 3,2 *г/см*³, а на «материковых» участках — анортозиты.

На поверхности реголита разница между дневной и ночной температурой составляет почти 300°, но на небольшой глубине под поверхностью ее суточные колебания не так велики. На глубине нескольких метров температура практически постоянна и равна средней суточной. В более глубоких слоях температура более высока за счет выхода из недр потока тепла, обусловленного распадом радиоактивных элементов, которые содержатся в лунной коре. Толщина коры составляет несколько десятков километров. Глубже находится твердое вещество другой природы, а в центре Луны имеется небольшое вязкое (расплавленное) ядро.

Непосредственные данные о радиоактивных элементах на Луне принесли измерения ее гамма-излучения, сделанные впервые приборами автоматической станции «Луна-10». Оно оказалось почти вдвое сильнее, чем излучение гранитов — земных пород с наибольшим содержанием радиоактивных элементов. Но 90% излучения Луны создается ядерными реакциями, происходящими под действием облучения космическими лучами. Состав горных областей на Луне, по-видимому, ближе к первоначальному составу ее коры и к составу метеоритов, более бедных радиоактивными элементами. Позднее местами первичная кора опускалась, расплавлялась и заливалась базальтовыми породами.

Упомянем, что измерения силы тяжести над разными участками Луны обнаружили ее увеличение над большими круглыми лунными морями. Такие аномалии силы тяжести должны быть обусловлены

наличием избыточных масс под этими поверхностями. Эти массы назвали *масконами* (сокращение слов «mass concentration» — «концентрация массы»). Происхождение их обсуждается. Пыль, накапливающаяся при ее выпадении из космоса и дроблении лунных пород, местами мало заметна, местами образует толстый слой и, оседая на космонавтов и на их приборы, очень мешала их работе. Космонавтами были установлены в пяти местах на Луне сейсмографы, регистрировавшие непрерывно мелкие лунотрясения от падения на Луну частей космических кораблей, а также от искусственно произведенных взрывов. Таким способом изучаются скорость и пути распространения сейсмических волн, что дает представление о свойствах лунных недр. Однажды было зарегистрировано падение крупного метеорита.

Неожиданным оказалось то, что скальные породы Луны имеют слоистое строение с толщиной слоев в десятки метров. Это говорит о сложности процессов, длительное время формировавших лунные горные породы. Ударно-взрывное происхождение по крайней мере части этих образований несомненно. Это метеориты разрушали при своем падении лунный грунт, обломки которого разбрасывались, а затем спрессовывались.

Теперь мы расскажем немного о том, что смогут наблюдать космонавты на Луне в будущем, если бы они могли оставаться на ней подольше.

В скафандрах, которые отапливаются от аккумуляторов и снабжаются кислородом, космонавты выходят из корабля через шлюз на лунную почву в безвоздушное пространство. Луна вчетверо меньше Земли по диаметру, и потому ее поверхность более искривлена — горизонт ближе к наблюдателю, ему видно не так далеко, как на Земле. Даже если космонавты окажутся в центре большого кратера, они увидят из-за горизонта лишь верхушки окружающего его высокого горного вала.

Космонавты могут разговаривать на Луне только при помощи переносных радиопередатчиков. Ведь звук в безвоздушном пространстве не передается,

даже взрыв при падении метеорита, образующего новый кратер.

Есть предложения базу первой лунной экспедиции сделать вроде землянки, обложив ее тепловой и антирадиационной изоляцией. Надо устроить и крышу — не от дождя, нет... Его ведь там не бывает,— а для защиты от микрометеоритов. И они иногда могут создать каменный дождь...

В «землянке» температура (без подогрева) будет меняться значительно меньше, оставаясь близкой к 0°С. Отапливать землянку, вероятно, можно будет атомным реактором. Если ее герметизировать, то в ней можно иметь и воздух. Воздух в необходимом количестве надо привезти с Земли или же его удастся добыть химическим путем из лунных пород. Из них же, может быть, удастся добыть и воду, хотя мне это представляется едва ли осуществимым при первых полетах.

Если космонавты будут наблюдать восход Солнца, то перед этим они не увидят ни сумерек, ни утренней зари, а на темном небе первыми покажутся жемчужные лучи солнечной короны — сияния, окружающего Солнце. На Земле она видна глазом только во время полных затмений Солнца, когда небо темнеет. Тени предметов на Луне черны и резки.

Переход с освещенного Солнцем места в тень влечет резкое изменение температуры. На Земле мы чувствуем в тени тепло нагретого воздуха, хотя и на Земле в солнечных лучах добавляется прямое нагревание.

Солнце медленно ползет над горизонтом, и только через $7^1/_4$ земных суток после его восхода наступает полдень. На небе мы увидим и нашу далекую Землю. Она будет в фазе, противоположной фазе Луны в это время.

Когда с Земли вся Луна темная и не видна вблизи Солнца, то с Луны космонавт увидит Землю как голубоватый круглый диск, больше чем наполовину скрытый белыми пятнами облаков, так что узнать на нем материки будет нелегко. И уже, конечно, не будет ничего похожего на «физическую» карту земного полушария. Видны темные океаны и светлые матери-

ки,— детали на них не имеют цветовых контрастов, которые съедаются дымкой земной атмосферы. А на краях Земли из-за атмосферы и вовсе ничего не будет видно. Подробнее о том, что видно на Земле издали, рассказано далее в очерке «Путешествия на Гермес и на Гермесе». О том, как видна с Луны деятельность человечества на Земле, я расскажу в этой книге в очерке «Есть ли жизнь на Земле?».

Площадь земного шара в 14 раз больше площади Луны, и так как Земля со своими облаками лучше, чем Луна, отражает свет, то в итоге полная Земля освещает ночи своего спутника в 40 раз ярче, чем полная Луна освещает нас. Поэтому вблизи новолуния, когда Луна выглядит как узкий серп, остальная ее (ночная) часть, освещенная светом Земли, тоже хорошо заметна. Это свечение Луны называют пепельным светом. На фоне пепельного света хорошо видны очертания лунных морей.

Особенно интересны условия видимости Земли с лунных полюсов и других мест, которые с Земли видны вдоль края лунного диска. Там Земля совершает сложные, хотя и небольшие движения у самого горизонта. Они вызваны неравномерностью движения Луны.

Когда для космонавтов на Луне наступает новоземелие, то Земля остается видимой выше или ниже Солнца как светлое кольцо. Это кольцо образуется атмосферой, освещенной Солнцем сзади. Ну, а если Земля окажется прямо перед Солнцем, у космонавтов наступит полное солнечное затмение, продолжительность полной фазы которого достигает $1^1/_2$ часов. На Земле же в это время видно затмение Луны. Когда на Земле происходит солнечное затмение, то с Луны оно выглядит совсем не эффектно — по Земле бежит маленькое темное пятно с полутенью вокруг, и это все.

Солнце для космонавта на Луне за месяц делает полный круг по звездному небу и относительно горизонта. Земля же почти неподвижно висит в том или другом месте неба относительно горизонта, в зависимости от положения космонавта на Луне.

Некоторые авторы полагают, что для обследования Луны космонавты должны двигаться вслед за терминатором (границей дня и ночи). Здесь температура может быть более благоприятной. На экваторе для этого пришлось бы передвигаться со скоростью 15,4 *км/час*, а у полюсов можно в тех же условиях оставаться и долгое время. Здесь лучи Солнца всегда скользят вдоль горизонта.

Советские автоматические станции установили отсутствие у Луны магнитного поля, подобного тому, какое существует у Земли. Земное магнитное поле обусловливает, как мы рассказывали, существование вокруг Земли пояса частиц высоких энергий. У Луны такого пояса нет.

Магнитные поля в 1000 раз слабее земных, наблюдаются лишь в некоторых местах Луны. Они местного происхождения.

Предполагают, что магнитное поле Земли обусловлено электрическими токами, циркулирующими в ее жидком ядре. Если это верно, то отсутствие магнитного поля у Луны говорит о том, что строение ее недр существенно отличается от земных.

Из-за отсутствия у Луны магнитного поля компас на ней для космонавтов будет бесполезен и определять направление можно будет только по положению на небе Земли и звезд. Для того чтобы космонавты могли определять время и координаты своего местонахождения на Луне, они должны изучить специальные способы: «земные» непригодны, так как Луна имеет другое положение оси своего вращения, другой период его и иначе, чем Земля, перемещается вокруг Солнца. Эти способы частично уже разработаны и разрабатываются дальше.

## ЕЩЕ ДВЕ ЗЕМНЫЕ ЛУНЫ, НО ОНИ... ИЗ ПЫЛИ

Предположения о существовании на Луне повсеместного толстого пылевого слоя не оправдались, но, как бы в компенсацию, польский астроном Кордылевский открыл, что у Земли есть еще два спутни-

ка, еще две луны и эти луны состоят из пыли целиком!

Эти спутники Земли видны невооруженным глазом лишь с гор при исключительно благоприятных условиях прозрачности воздуха, положения их над горизонтом и при нахождении «настоящей» Луны под горизонтом.

Открытие было сделано Кордылевским еще в 1956 г., но за последующие 10 лет лишь немногим удалось видеть эти спутники Земли в виде размытых, крайне слабо светящихся пятен в несколько градусов диаметром. Они перемещаются среди звезд по тому же пути, что и Луна, и с такой же скоростью, но одно пятно идет всегда на 60° впереди Луны, а другое на 60° позади нее. Из этого ясно, что оба спутника находятся от Земли на том же расстоянии, что и Луна, и образуют с Луной и Землей равносторонние треугольники. Они находятся в так называемых либрационных точках, открытых Лагранжем в XVIII в. теоретически при изучении движения трех тел, из которых два имеют большие массы, а третье очень малую. Под действием больших масс третье тело при произвольных условиях будет быстро менять свою орбиту. Таким образом, его движение будет неустойчивым. Но если, как доказал Лагранж, три тела в начале движения будут находиться в вершинах равностороннего треугольника, их движение будет устойчивым и взаимное расположение будет сохраняться. Однако при наличии слабых возмущений, например, притяжения других, более далеких тел, тело малой массы будет несколько колебаться около вершины треугольника, будет происходить его либрация.

Вершины двух описанных равносторонних треугольников называются либрационными точками Лагранжа. В XX в. были открыты такие малые планеты — астероиды, которые движутся вблизи либрационных точек в системе, образуемой ими с Юпитером и Солнцем.

Кордылевский открыл новые спутники Земли не случайно. Он искал вблизи либрационных точек

крупные метеориты, которые могли туда попасть из окололунного пространства. Но вместо этого он открыл упомянутые облака, которые могут быть только облаками космической пыли. Они должны быть скоплениями пылинок, застрявшими вблизи либрационных точек при своем беспорядочном движении в Солнечной системе. Облака эти, отражающие солнечный свет, должны быть очень разрежены. Их диаметр несколько больше диаметра Земли. Края их нерезки, масса неизвестна, но очень мала.

## РАСКАЛЕННЫЙ ДВОЙНИК ЛУНЫ — МЕРКУРИЙ

В отношении размеров, масс, близости к Солнцу, густоты атмосфер, а также средней плотности все планеты можно разделить на две группы: планеты типа Земли и планеты типа Юпитера. С ростом диаметра планет земного типа (а, по-видимому, и их спутников) растет их средняя плотность: Луна 3,3; Меркурий, Марс, Венера — около 4; Земля 5,5 $г/см^3$. В этом направлении, вероятно, растет не только относительный, но и абсолютный диаметр их плотного ядра. Впрочем, у Луны, Меркурия и Марса тяжелого ядра может и совсем не быть.

Меркурий, ближайшую к Солнцу планету, трудно изучать потому, что она большей частью теряется в его лучах. Поэтому первоначальные представления о Меркурии были во многом ошибочными.

Свой оборот вокруг Солнца Меркурий завершает за 88 земных суток, то есть носится вокруг Солнца «как угорелый», с «точки зрения» медленно шествующих вокруг Солнца далеких от него планет.

Когда Меркурий виден на небе подальше от дневного светила, то в телескоп, он представляется, как Луна в первой или в последней четверти, т. е. как полукруг.

Из наблюдения смутных пятен, видимых на нем, астрономы предварительно заключили, что Меркурий, как кролик, зачарованный змеиным взглядом, не может повернуться относительно Солнца и обращен к нему одной и той же стороной. Так, считалось,

что Меркурий (в прошлом — символ греческого бога торговли и путешествий) обращается вокруг Солнца, как бы не смея отвести от него своего «лица». Были даже составлены карты освещенного полушария Меркурия, не пользовавшиеся, впрочем, большим доверием.

Радиолокационные наблюдения 1964 г. в США неожиданно показали, что период обращения Меркурия вокруг оси по отношению к звездам составляет около 59 суток! Значит, по отношению к Солнцу Меркурий, хотя и медленно, но поворачивается в прямом направлении. Каждое его полушарие по временам освещается Солнцем. На нем нет полушария вечного дня и полушария вечной ночи, а солнечные сутки на нем длятся вдвое дольше, чем его год!

Как же это согласовать с периодом, выведенным из прежних зарисовок пятен на Меркурии? Противоречие? Оказалось, что противоречия нет. Промежутки между временем зарисовки одних и тех же пятен Меркурия в одинаковом положении на его диске при одинаковых фазах удовлетворяются не только периодом в 88 суток, но и другими, в том числе периодом в 58,4 суток. Этот период согласуется с периодом, полученным из радионаблюдений.

Солнце вызывает на планете приливной горб, всегда оттягиваемый к нему. Если планета вращается быстро, то это явление создает то, что называется приливным трением. Оно тормозит вращение планеты. Если орбита планеты точно круговая, то за века ее вращение относительно Солнца может совсем прекратиться. С Меркурием этого не случилось, так как его орбита имеет большой эксцентриситет. Эти расчеты, основанные на теории тяготения, точнее, на теории приливов, объяснили даже количественно новый период вращения Меркурия, найденный из радионаблюдений.

В свете того открытия, что на Марсе, как и на Луне, множество кольцевых гор — кратеров, ожидали, что их много и на Меркурии. Ведь по размеру он промежуточен между Луной и Марсом. Это показали фотографии, сделанные в 1974 г. с близкого

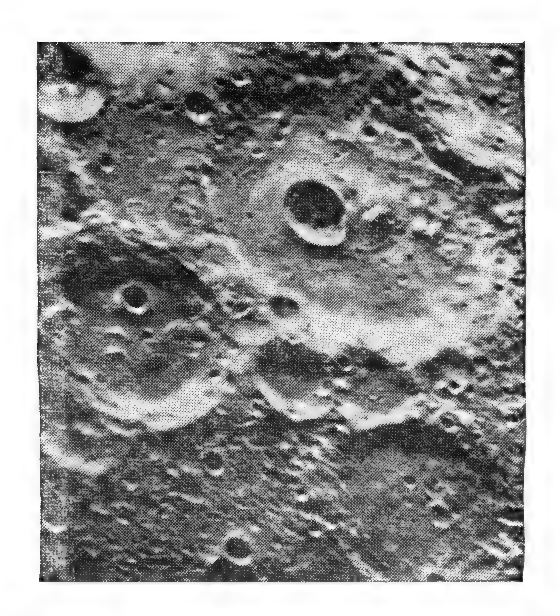


Рис. 45. Структура больших кратеров Меркурия.

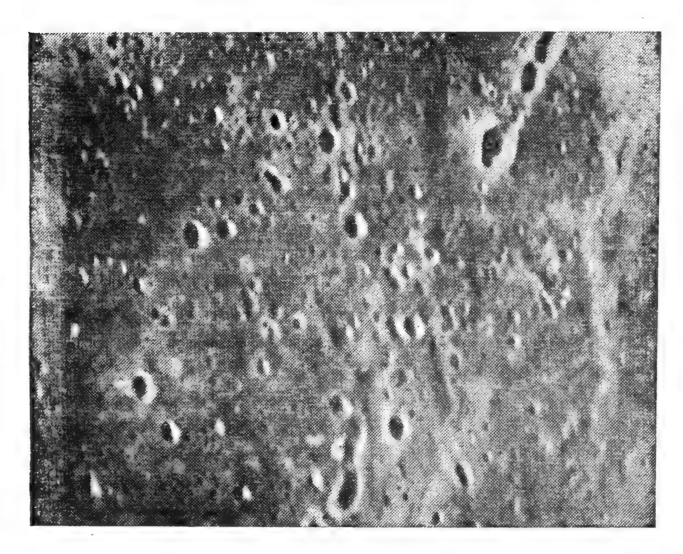
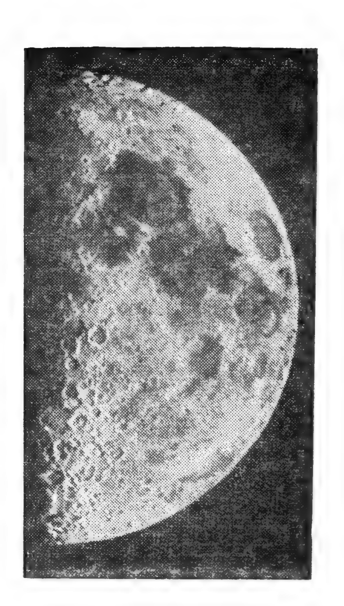


Рис. 46. «Ровные площади на Меркурии». Стороны этого прямоугольника составляют всего около 40 *км*.

расстояния межпланетной станцией США «Маринер-10», пролетавшей мимо Меркурия дважды. Было передано несколько тысяч фотографий разного масштаба, позволяющих построить глобус Меркурия и карты его поверхности столь же подробные, как карты Луны! (И более точные, чем карты некоторых участков на Земле.) В самом деле, разрешение фотографий достигало 100 *м*! (100 *м* — это длина больших домов на Земле.) Весь Меркурий изрыт такими же кратерами, как Луна, и столь же густо. Даже специалист не отличит небольшие участки Луны и Меркурия друг от друга. Нет различия в размерах кратеров, в обрывистости их валов, наружных и внутренних, в наличии менее изрытых и темноватых днищ «морей» и долин. Такую поверхность создали на Меркурии те же причины, что и на Луне — мощный вулканизм и бесчисленные падения крупных и мелких метеоритов в далеком прошлом.

Кольцевые горы и ямки от ударов при падении метеоритов образуются при отсутствии достаточно плотной атмосферы, способной смягчить эти удары. Сила тяжести на этой планете недостаточна для удержания вокруг нее атмосферы, сравнимой с земной по своей плотности. Предполагали, что если у Меркурия атмосфера есть, то крайне разреженная. Ни прямые наблюдения, ни изучение спектра планеты с наземных астрономических обсерваторий не дают бесспорных признаков этой атмосферы. Обнаружить ее удалось только с космического корабля, который с близкого расстояния наблюдал спектры слабого свечения газов возле поверхности Меркурия в ультрафиолетовых лучах, для которых земная атмосфера непрозрачна. Приборы космического корабля «Маринер-10» (США) показали, что концентрация газов у поверхности Меркурия во много раз больше, чем в межпланетном пространстве. Получены оценки количества атомов кислорода и водорода, а также инертных газов: аргона, неона, ксенона и даже гелия. Но полное давление этих газов всех вместе у поверхности Меркурия ничтожно мало: оно не превышает



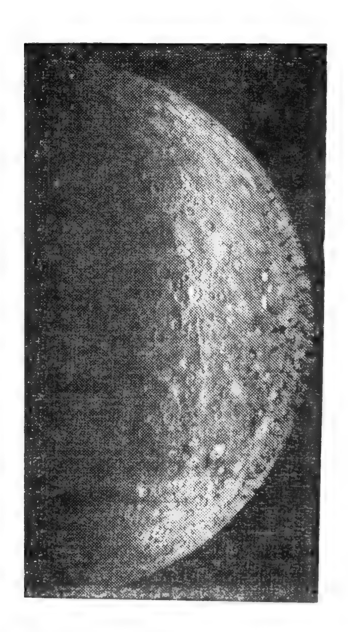


Рис. 47. Фотографии Луны (слева) и Меркурия (справа) в одинаковых фазах для сравнения.

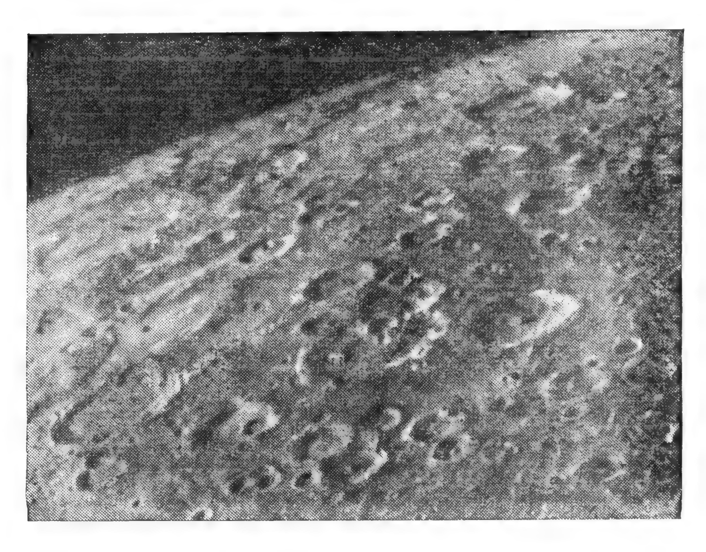


Рис. 48. Кратеры Меркурия вблизи лимба.

одной пятисотмиллиардной доли от давления у поверхности Земли.

Меркурий в 2 $^1/_2$ раза ближе к Солнцу, чем Земля, и получает от него тепла в шесть раз больше. При отсутствии достаточной атмосферы и медленном вращении он должен днем сильно накаляться, а на ночной стороне быстро и надолго остывать. Когда Солнце стоит в зените, поверхность Меркурия нагревается до температуры 290°—420°С, в зависимости от периодически изменяющегося расстояния до Солнца (вследствие большого эксцентриситета орбиты Меркурия), а на среднем расстоянии от Солнца температура на Меркурии бывает 345°С. Жарко! Даже на сковородке, когда что-нибудь жарят, такая температура не достигается — все подгорит! А в сезон приближения к Солнцу на экваторе Меркурия в полуденных участках могли бы появляться озера из расплавленного свинца! О существовании не только льда и снега, но даже жидкой воды, воображаемый обитатель Меркурия не мог бы даже и догадаться.

Однако ночью там страшный холод: в некоторых участках ночной стороны планеты, по измерениям с «Маринера-10», поверхность остывает до —173°С.

## ЗАГАДКИ КРАСАВИЦЫ ВЕНЕРЫ

Наша соседка Венера, лишь немногим уступающая Земле по размеру и массе, видна для невооруженного глаза как звезда-красавица. То утром, то вечером она купается в лучах зари и в древности принималась за два разные светила, носившие названия Веспер и Люцифер. Как и Меркурий, она меняет свои фазы, но удаляется от Солнца дальше и потому удобнее для наблюдений. Когда она видна как широкий серп, то достигает наибольшей яркости при наблюдении с Земли. В эту пору, как светлая точка, она может быть видна на фоне голубого неба даже днем. Известно, что фазы Венеры открыл еще Галилей в 1610 г. Он не был сначала уверен в правильности своего наблюдения и не решался сообщить о нем открыто, но не хотел и упустить первенства. Поэтому

он сообщил лишь латинскую фразу, которая в переводе означала: «Эти незрелые вещи разбираются уже мною, но тщетно» и к ней добавил две буквы, которые не смог использовать для написания в таком зашифрованном виде своего открытия. 5 ноября Галилея спросили, не имеют ли фаз Меркурий и Венера. Этого можно было ожидать, поверив Копернику, что орбиты этих планет лежат внутри орбиты Земли. Галилей осторожно ответил, что он еще не изучил всего, касающегося неба, и что будучи нездоров, он не наблюдает, а лежит чаще в постели. Лишь окончательно убедившись в верности своего открытия, Галилей расшифровал свою анаграмму. Переставив ее буквы в другом порядке, можно было получить фразу (без лишних букв!): «Мать любви подражает видам Цинтии». Мать любви — богиня Венера, а Цинтия— одно из древних названий Луны.

Венера ревниво хранит свои тайны. Когда она близка к нам так, что ее узкий серп можно различить даже в сильный бинокль, большая часть ее полушария, обращенного к нам, не освещена. А когда она освещена почти вся, то находится раз в шесть дальше, да еще теряется в солнечных лучах. Атмосфера ее — первое, что на ней обнаружили,— содержит слой плотных облаков и, как чадра восточной красавицы прошлых времен, скрывает от нас ее поверхность.

Белые облака Венеры хорошо отражают солнечный свет и делают ее самым ярким светилом неба (кроме Солнца и Луны). Никаких постоянных пятен на Венере не видно, поэтому из визуальных или фотографических наблюдений период ее вращения с уверенностью определить не могли. Спектральный анализ тоже не показывал заметного вращения и в конце концов многие решили, что она как и Меркурий, всегда обращена к Солнцу одной стороной. Как Меркурий..., но ведь радиолокационные наблюдения обнаружили, что Меркурий относительно Солнца все же поворачивается! Да, радиолокационные наблюдения Венеры тоже принесли неожиданное открытие. И в СССР и в США радиоастрономы убедились в

том, что период вращения Венеры относительно звезд составляет 243 земных суток, что почти равно периоду ее обращения (225 суток). Но Венера вращается в обратном направлении, как ни одна другая планета от Меркурия до Сатурна. Поэтому солнечные сутки на ней длятся 117 земных суток. Наклон оси вращения Венеры очень мал, так что на ней нет смены времен года.

Но вернемся к атмосфере, в которой плавает облачная завеса. Уже довольно давно в атмосфере Венеры по спектру было обнаружено значительное количество углекислого газа. После этого накопление сведений застопорилось надолго. Только в 60-е годы совершенствование астрономических приборов и методики спектроскопии позволило при помощи наземных телескопических наблюдений зарегистрировать присутствие в атмосфере Венеры небольшой примеси других газов: очень малого количества водяного пара и ядовитого угарного газа, а также хлористого и фтористого водорода,— последние два у нас на Земле встречаются только в кратерах вулканов и на химических заводах, где они используются для приготовления сильных кислот. К сожалению, при помощи наземных измерений нельзя с уверенностью обнаружить на Венере некоторые другие газы, даже если бы они были основными составляющими частями атмосферы. Предполагали, что там много азота, по аналогии с воздухом. Но для проверки этого предположения требовалось использовать межпланетные ракеты.

Кроме химического состава атмосферы важно знать также температуру и давление на поверхности планеты.

Измерения с Земли теплового излучения Венеры в инфракрасном диапазоне спектра показывали температуру около —35°С как для ночной, так и для дневной стороны планеты. На первый взгляд этот результат кажется удивительным: почему днем такой холод? Известно, что Венера ближе к Солнцу, чем Земля, в $1^1/_2$ раза! Дело в том, что инфракрасное излучение приходит от наружной поверхности

облаков Венеры—именно их температуру показывает радиометр. Поэтому не следует удивляться: ведь и в земной стратосфере, на большой высоте, температура низка и мало меняется как ото дня к ночи, так и от полюса к экватору. Эти результаты для Венеры были подтверждены полетом американской станции «Маринер-2» в 1962 г., которая пролетела мимо планеты на расстоянии 40 тыс. *км* и передала некоторые интересные сведения, хотя и не так много, как ожидали.

Около центра диска планеты была зарегистрирована температура над облаками —34°С, а на краях планеты она доходила до —51° и —57°, что говорит о более высокой температуре в глубинах атмосферы, куда легче заглянуть именно в центре диска планеты по отвесной линии, а не по наклонной, как на краю. Впрочем, вывод о более высокой температуре в нижних слоях плотной атмосферы получен независимо другим способом — из всей совокупности наших знаний о физике газов и о планетных атмосферах. Но какова толщина венерианской атмосферы и каковы условия в ее нижних слоях? Бóльшая, чем на Земле, плотность атмосферы Венеры была очевидна уже из очень давних прямых наблюдений этой планеты, когда она видна как узкий серп. В таких случаях длина серпа бывает не 180° по лимбу, как у Луны, а гораздо больше. В определенных условиях освещения (когда Венера перед наземным наблюдателем расположена почти на фоне Солнца) кончики светлого серпа удлиняются настолько, что замыкаются, образуя тонкое светящееся кольцо. Такое явление — следствие рефракции (преломления света в атмосфере Венеры) и большой высоты слоя облаков, рассеивающих солнечный свет. Приводя различные доводы и обоснования, ученые пытались вычислить высоту, до которой простираются облака в атмосфере Венеры. По одним оценкам получали 30 *км*, а по другим — до 100 *км*. Но все-таки 30 или 100? Эти два значения приводят к сильно различающимся теоретическим оценкам атмосферного давления, так же как наличие или отсутствие азота.

Сплошная облачность Венеры, близкой к Солнцу, наводила на мысль, что условия на поверхности Венеры сходны с теми, какие были на Земле в каменноугольный период ее геологической истории. Тогда под облаками во влажной, богатой углекислым газом атмосфере, установились климатические условия, благоприятные для бурного развития мощной растительности. Жестокий удар по этим долго бытовавшим представлениям в последние годы нанесли радиоастрономические исследования Венеры. Многократно повторенные, они говорили о том, что физические условия на прекрасной планете для жизни совсем не прекрасны. Там непомерно жарко. Результаты измерений радиоизлучения Венеры, которое может проходить сквозь облака и идти к нам от самой поверхности планеты, показывают температуру до 380°C! На миллиметровых волнах температура пониже: +100°C, но это излучение приходит к нам из более холодных слоев атмосферы.

Очень высокая температура на Венере вызывается, как полагают многие ученые, парниковым эффектом: ее атмосфера, более прозрачная для видимых, чем для инфракрасных лучей, пропускает излучение Солнца, нагревающее поверхность и атмосферу, но сильно задерживает выход наружу теплового излучения поверхности.

Один из ученых заключил, что часть поверхности в наиболее горячих участках на Венере может быть покрыта расплавленными металлами такими как свинец (температура плавления 327°,3), и, вероятно, даже цинк (419°,5) и более редкое на Земле олово (231°,9), а также расплавленными химическими соединениями из числа легкоплавких карбонатов. Существуют ли подобные озера на Венере в действительности, мы не знаем, но оказалось, что более холодных областей нет на всей планете: температура дневных и ночных районов и даже полюса и экватора там практически одинакова: разница составляет всего несколько градусов.

При таких условиях высадка космонавтов на Венере едва ли возможна. Иное дело — более «вынос-

ливые», чем человек, автоматические приборы, хотя и они для нормальной работы нуждаются в защите от чрезмерного перегрева.

В 1966 г. к Венере подлетели две советские космические станции. Одна из них доставила на Венеру вымпел с гербом СССР, а другая пролетела от нее на расстоянии 24 000 *км*.

Несравнимые ни с чем предыдущим данные принесли сообщения спускаемого аппарата советской автоматической межпланетной станции «Венера-4», который плавно опустился в атмосферу 18 октября 1967 г. впервые в мире. (Через сутки после этого американская космическая станция «Маринер-5» пролетела на расстоянии 4 тыс. *км* от поверхности Венеры и провела научные исследования). Приборы советской станции «Венера-4» впервые произвели измерения непосредственно в атмосфере планеты. Полученные результаты уточнялись и дополнялись измерениями при помощи усовершенствованной аппаратуры в последующих экспериментах. В 1969 г. был осуществлен парашютный спуск в атмосфере Венеры советских автоматических межпланетных станций «Венера-5» и «Венера-6», которые, как и предыдущая, произвели посадку на ночном полушарии планеты. Радиопередача информации на трассе спуска продолжалась до того момента, когда температура повысилась до 325°С, а давление — до 27 атмосфер, после чего приборы перестали функционировать. Одним из важнейших результатов этих экспериментов было открытие, что углекислый газ в атмосфере Венеры является не примесью, а основной составляющей, и что объемное содержание азота не превышает 2% (если он там имеется), кислорода — не более 0,1%, а содержание водяного пара вблизи облачного слоя не превышает нескольких десятых долей одного процента.

В 1970 г. на Венеру — также в неосвещенном участке — опустилась станция «Венера-7», передававшая информацию не только во время спуска, но даже с самой поверхности планеты (очевидно, твердой!). В месте посадки были зарегистрированы температура 470°С и давление 90 атмосфер с возможной

ошибкой ±15 атмосфер. Плотность атмосферы была в 60 раз выше, чем на Земле. В 1972 г. «Венера-8», в отличие от предыдущих станций опустившаяся на дневной стороне планеты, показала температуру 470°±20°С при давлении 93±1,5 атмосферы. Прибор для измерения освещенности показал, что из-за густой облачности на поверхности «утренней звезды» днем царят сумерки, но между облаками и поверхностью планеты имеется прозрачный слой атмосферы.

В октябре 1975 г. спускаемые аппараты советских автоматических станций «Венера-9» и «Венера-10» впервые передали на Землю телевизионные панорамы поверхности Венеры. Сами станции стали искусственными спутниками планеты.

Так были разрешены некоторые из основных загадок Венеры. Мы намеренно, в краткой форме, привели историю исследования атмосферы Венеры, чтобы читатели на этом примере видели, как длительно и упорно приходится изучать планеты, как постепенно уточняются и подтверждаются космонавтикой выводы, сделанные из наблюдений с Земли.

В заключение вернемся к облакам Венеры. Состав облаков Венеры все еще не разгадан. Теперь сомнительно, чтобы это были капельки или кристаллы воды. В последнее время серьезно обсуждается предположение, что это — капельки водного раствора серной кислоты. Такое предположение помогает объяснить удивительно малое содержание водяного пара в атмосфере и согласуется с наблюдаемыми оптическими свойствами облаков Венеры.

В облаках Венеры на фотоснимках, сделанных в ультрафиолетовых лучах еще в 20-х годах были обнаружены и в дальнейшем наблюдались крупные пятна в виде слабых потемнений. Сопоставляя снимки, полученные в разное время, астрономы заподозрили наличие ретроградного (в необычном направлении) осевого вращения планеты, скорость которого, по лучшим оценкам, соответствовала четырехсуточному периоду. Этот вывод подтвердился данными с автоматической межпланетной станции «Маринер-10», ко-

торая в 1974 г. передала на Землю по космическому телевидению изображения Венеры в ультрафиолетовых лучах, полученные с близкого расстояния.

На рис. 49 вы видите слева снимок, сделанный с Земли, при разрешении деталей до 500 *км* размером,

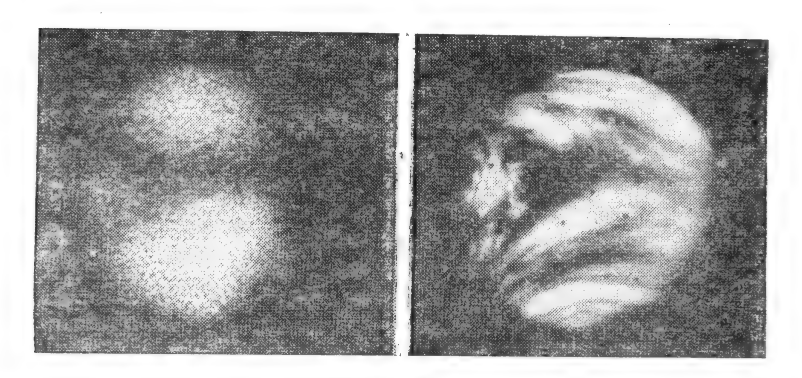


Рис. 49. Фотографии Венеры в ультрафиолетовых лучах: слева — наземная, с низким разрешением, справа — с близкого расстояния со станции «Маринер-10» с высоким разрешением.

а справа — с «Маринера-10» с разрешением, в десять раз большим. Благодаря этому отчетливо стали

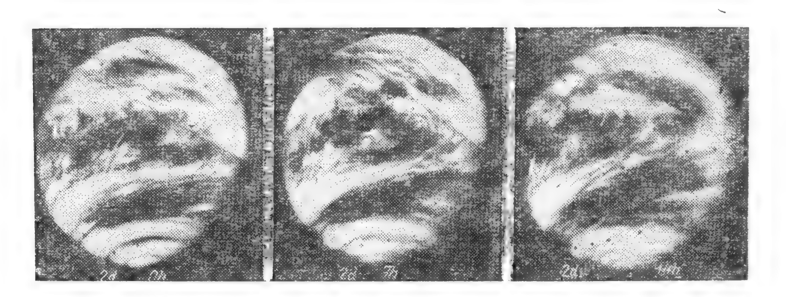


Рис. 50. Фотографии Венеры с семичасовыми промежутками.

видны облака и потоки в них — циркуляция верхней атмосферы. На трех снимках (рис. 50), охватывающих 8 суток, видно квазиустойчивое темное пят-

но, смещение светлых и темных деталей. Это смещение согласуется с 4-дневным периодом вращения в направлении восток — запад. Y-образное пятно, может быть, постоянно рассасывается и опять восстанавливается. Но, как мы видели, по данным радиолокации, период осевого вращения твердой поверхности Венеры значительно больше! За четверо суток делает один полный оборот только верхний слой облаков, что соответствует скорости ветра около 100*м/сек* на экваторе планеты. Такая скорость ветра наблюдается только на большой высоте, а у самой поверхности Венеры, по данным советских станций, — полный штиль, то есть нет никакого движения.

Еще в 6-м издании этой книги я писал о мечте прощупывать радиолокатором рельеф планет сквозь облачный покров, каким, например, окутана Венера. Но не прошло и пяти лет, как это уже сбылось. По измерениям мощности радиосигнала, отраженного от разных мест поверхности Венеры, сначала составлялись карты, на которых обозначены постоянно существующие на Венере детали с повышенным коэффициентом отражения радиоволн. В дальнейшем американские ученые с помощью радиолокационных установок смогли установить разности высот на поверхности Венеры с точностью до 150 *м* и различать их на пространствах в несколько сотен километров. Найдена обширная область, находящаяся на 3 *км* выше среднего уровня. Еще поразительнее было обнаружение впоследствии более десяти кратеров (!) размером от 35 до 160 *км*. (Конечно, там должно быть множество более мелких.) Однако они неглубоки (даже наибольший из них имеет глубину только 400 *м*). Вероятно, это результат выветривания. Надо думать, что происхождение их скорее вулканическое, так как метеоритам пробить плотную атмосферу Венеры труднее, чем пробивать атмосферу Земли.

Кроме того, радиолокация позволила измерить экваториальный радиус Венеры под облачным слоем: $6052 \pm 5$ *км*.

Тайны Венеры постепенно раскрываются...

## МАРС ИЗДАЛИ И ВБЛИЗИ

О Марс! Интереснейшая из планет.

Расстояние от Земли до этого нашего небесного соседа меняется в больших пределах. Наименьшее расстояние до него бывает в так называемом противостоянии, когда обе планеты, двигаясь по своим орбитам, сближаются и находятся по одну сторону от Солнца. Противостояния происходят каждые два года. Но и это расстояние зависит от того, в каком месте своих орбит они сближаются, так как орбиты обеих планет, а особенно Марса, заметно эллиптичны. Это наименьшее расстояние колеблется от 100 до 55 млн. *км*. В последнем случае противостояние называется великим и повторяется через 15 или 17 лет. Ближайшее великое противостояние произойдет в 1988 г. К сожалению, в этих противостояниях Марс для средних широт северного полушария Земли, где расположено большинство обсерваторий, бывает невысоко над горизонтом. Его приходится наблюдать через значительную толщу атмосферы — постоянного врага астрономических наблюдений. Много ли можно увидеть на Марсе в телескоп с таких громадных расстояний? А между тем Марс — самая интересная из планет, так как больше всего сходна с Землей.

Он в полтора раза дальше от Солнца, чем Земля, и получает тепла только в два с лишним раза меньше. Его год составляет 687 наших суток или 668 марсианских суток, которые длиннее земных на 37 минут. Ось вращения Марса наклонена к его орбите почти так же, как земная, так что на нем происходит смена времен года. Наконец, Марс по диаметру вдвое меньше Земли и вследствие меньшей массы сила тяжести на нем в два раза меньше, чем земная. Поэтому с Марса легче, чем у нас, запускать космические ракеты.

С Земли из-за волнения воздуха нельзя различить на поверхности Марса даже в сильнейший телескоп детали менее чем 0,5—1″, т. е. менее чем 150—300 *км*. Кроме того, сам Марс обладает атмосферой,

хотя и разреженной, и она накладывает дымку на диск Марса, особенно на его краях. Поэтому с р а з у на Марсе можно увидеть немногое, и только терпеливые наблюдения в лучшие ночи от года к году дают

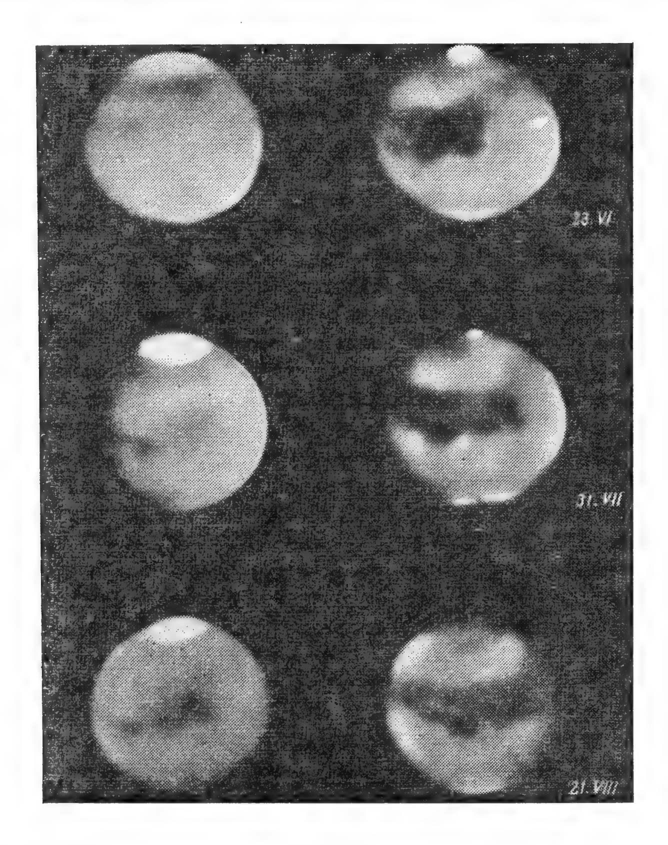



Рис. 51. Сезонные изменения на Марсе по фотографиям с Земли. Заметны изменения размеров полярной шапки и видимости темных пятен.

некоторое суммарное представление о поверхности этой загадочной планеты.

Что же можно непосредственно видеть на Марсе? Прежде всего мы замечаем, что бóльшая часть его

поверхности имеет красновато-желтый цвет, отчего эта планета в целом и была в древности посвящена кровавому богу войны. Эти места раньше считали пустынями, ровными и возвышенными. Во вторую очередь бывает заметна белая полярная шапка на том или другом полюсе Марса.

Белые полярные шапки — это тонкий снеговой покров, над которым часто стоит туман. Такой вывод о полярных шапках сделал русский ученый Г. А. Тихов в 1909 г. Он впервые фотографировал Марс через разные светофильтры. О том, что это сезонный покров, догадывались и потому, что когда на соответствующем полушарии Марса зима, полярная шапка велика. К лету, дробясь по краям, она уменьшается и иногда даже исчезает.

В последние годы установлено, что, кроме снега из замерзшей воды, в полярных шапках Марса находится (и, по-видимому, преобладает) снег из замерзшего углекислого газа, который в условиях Марса затвердевает при температуре около —130 °С.

Труднее заметить на Марсе темные пятна вследствие их малой контрастности. Их сразу же назвали морями, но это, безусловно, не моря. В них никогда не наблюдалось отражение Солнца. Очертания их несколько меняются и от года к году и при смене времен года. Так, с таянием полярной шапки начинается потемнение этих пятен, идущее от полюса к экватору. Кроме того, Скиапарелли в Италии в 1877 г. увидел на Марсе сеть тонких линий, которые он назвал каналами. Эти линии пересекают не только оранжевые «материки», соединяя темные пятна, но также и эти пятна, чего не могло бы быть в случае, если эти пятна — моря. Долгое время многие думали, что темные пятна — низменности, где только и есть на Марсе влага. Полярные шапки тают весной, и освободившаяся вода стекает к экватору по низинам, оживляя растительность, которая и придает пятнам темные цвета. Ловелл в США верил, что каналы — искусственные сооружения гипотетических марсиан, свидетельство их высокой техники. Он рисовал геометрически правильную сеть сотен кана-

лов, но после работ Антониади и других выяснилось, что каналы не такие уже тонкие линии: они должны иметь сотни километров в толщину и чаще всего представляют собой цепи неправильных пятнышек. Тогда стали предполагать, что «каналы» — это растительность, окаймляющая узкие водные русла, сами по себе не видимые в телескоп. Наблюдатели отмечали сезонные изменения в окраске темных пятен, но зеленоватый для глаза цвет этих пятен летом и побурение осенью объясняются теперь физиологическим эффектом контраста с соседними оранжевыми областями. По точным измерениям цвет «морей» почти не отличается от цвета «материков»,— он тоже красноват.

Основные темные пятна можно узнать на всех картах. В последние годы в США под руководством Вокулера была составлена карта Марса, основанная на фотографиях и сотнях наилучших зарисовок Марса, сделанных за последние 90 лет двумястами наблюдателей. На отдельных лучших рисунках положение деталей Марса определялось с ошибками до 5° (600 *км*). Названия деталям на карте Марса даются латинские. Эти карты содержат вовсе не детали рельефа, а только темные и светлые области, да и то лишь очень крупные — размером не менее 150 *км*.

Оранжевые материки считались ровными пустынями. Горы, как полагали, есть только там, где изредка наблюдаются светлые пятнышки,— быть может, снег, выпадающий на горах. Наши представления о поверхности Марса (но не о температуре на нем, не о его безводии или атмосфере) очень изменились после пролета мимо него АМС «Маринер-4» в 1965 г. Восемь месяцев длилось ее приближение к Марсу и с расстояния 12 000 *км* она получила и передала на Землю 20 весьма еще несовершенных фотографий поверхности. Они охватили лишь 1% поверхности Марса вдоль дуги, проходящей через светлые и темные области Марса, но, к изумлению астрономов, снимки показали, что и те и другие области усыпаны кольцевыми горами, кратерами подобно Луне. (Кратеры на Меркурии были обнаружены на 9 лет

позднее.) В 1969 г. съемка была продолжена на пролетных космических кораблях «Маринер-6» и «Маринер-7».

В последующие годы, до конца 1974 г. были запущены несколько АМС в направлении Марса: советские

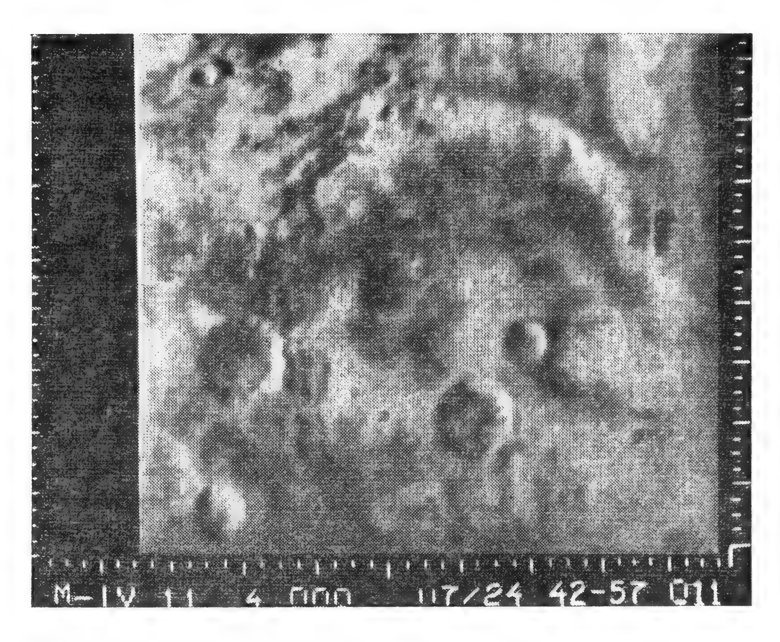



Рис. 52. Фотография участка марсианской поверхности, полученная «Маринером-4».

«Марс-2, 3, 4, 5, 6 и 7» и американская «Маринер-9», которые стали спутниками Марса и позволили длительное время наблюдать поверхность планеты с довольно близкого расстояния, хотя этому иногда мешали пылевые бури на самом Марсе. Длящиеся месяцами, они заволакивают его поверхность, насыщая атмосферу мелкой пылью. Иногда вся атмосфера Марса в течение месяцев остается настолько запыленной, что сквозь нее видно очень мало. Существование бурь было одним из признаков присут-

ствия атмосферы на Марсе еще до космических полетов к нему. Ведь для распространения пыли нужны ветры. Переносом песков сезонными ветрами можно в принципе объяснить сезонные и годовые изменения очертаний темных пятен Марса, давно наблюдаемые с Земли. Желтые облака пыли хорошо увязывались с представлением о том, что желтые «равнины» Марса — плоскогория, песчаные пустыни, а темные — низменности, которые, может быть, имеют влагу и растительность. Теперь установлено, что на Марсе существуют разности высот более 20 *км* (сходно с тем, что есть на Земле). Однако первые определения разности высот больших участков показали, что высоты и низины не совпадают с оранжевыми «пустынями» и «морями», т. е. с темными пятнами. Границы темных пятен не всегда совпадают с границами различных форм рельефа, найденных на снимках Марса с советских и американских космических аппаратов.

Среди многочисленных кратеров, найденных на снимках, более сотни имеют диаметр свыше 120 *км*. Кратеров меньшего размера значительно больше, но не так много, как на Луне или Меркурии. Склоны их более пологи, наклоны их чаще всего около 10°. Центральные горки и кратеры на валах редки. Все это должно быть следствием эрозии в результате действия нынешних ветров, ударов мелких метеоритов и песчаных бурь, а в прошлом, по-видимому, и воды. Извилистых речных долин с притоками найдено несколько и, я бы сказал, удивительно, что их все еще не занесло песком.

Единственна в своем роде р и ф т о в а я  д о л и н а (или Большой каньон). Она тянется на тысячи километров при ширине в 100 *км* и глубиной в несколько километров. На Земле или Луне подобного образования нет. Таким же уникальным образованием является «Никс Олимпика». Это громадный вулканический конус, иначе «щит» типа Гавайских островов, но больше. Диаметр его основания 500 *км*, а наверху находится, по-видимому, застывшее, лавовое озеро — кальдера, как на Гавайских островах.

В этом районе концентрируется еще несколько вулканических щитов такого вида, но поменьше.

Обнаружение всех этих разновидностей топографических деталей не противоречит прежним представлениям о природных условиях на Марсе, а лишь

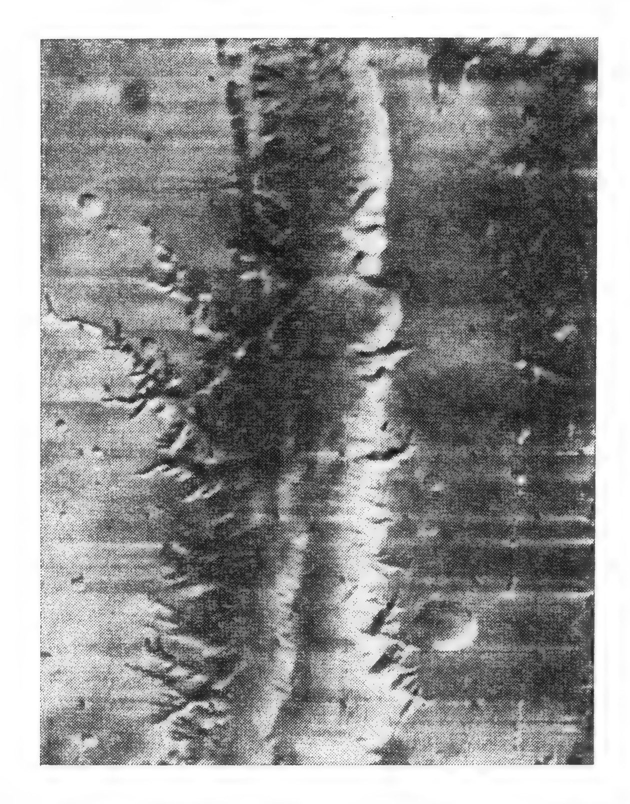


Рис. 53. Гигантский «Большой Каньон» на Марсе, тянущийся на тысячи километров.

в большой мере дополняет и уточняет эти представления. Но никто не мог ожидать, что там существуют (и не маленькие!) извилистые ложбины с притоками, которые приходится признать руслами рек, некогда протекавших на Марсе (на

планете, где сейчас водяной пар обнаруживается с трудом!). По-видимому, когда-то Марс был настолько богат водой, что она могла течь по нему! Почему это было и почему этого не стало? К надежному ответу на это мы еще не подготовлены. Интересную гипотезу

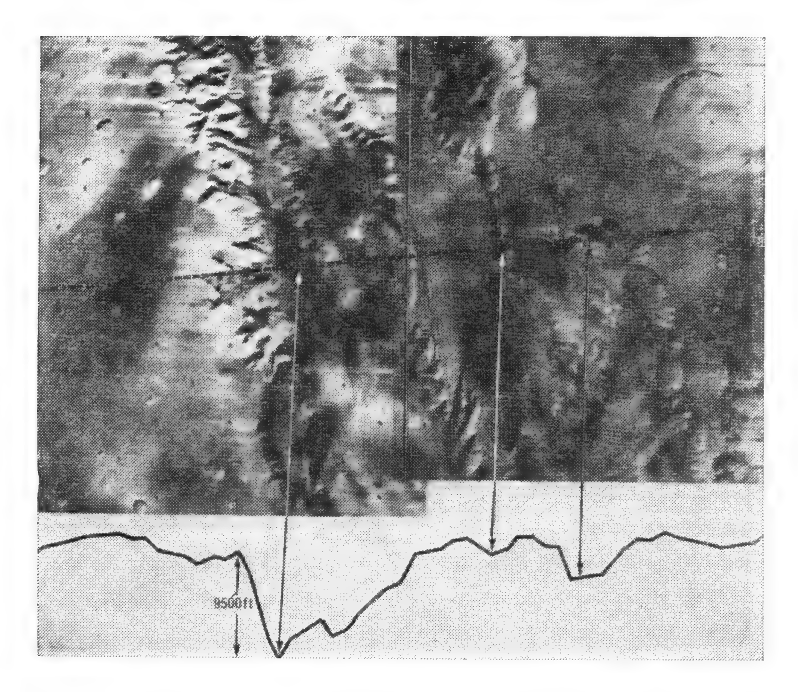



Рис. 54. Часть Большого Каньона и его профиль: ширина около 100 *км*, а глубина до 4 *км*. Правее каньона параллельная ему цепочка из десятка слившихся кратеров одинакового размера.

высказал В. Д. Давыдов. Он допускает, что на Марсе и сейчас есть водоемы, замерзшие снаружи и засыпанные песком. Где? — Например, под гладкой поверхностью в некоторых участках одной низменной равнины в умеренных широтах южного полушария планеты.

Температурные условия на Марсе исследованы еще недостаточно, но в общем там, бр-р-р, как холодно.

По измерению болометрами и термоэлементами теплового, инфракрасного излучения планеты найдено было следующее. В связи с изменением расстояния Марса от Солнца днем температура в экваториальной

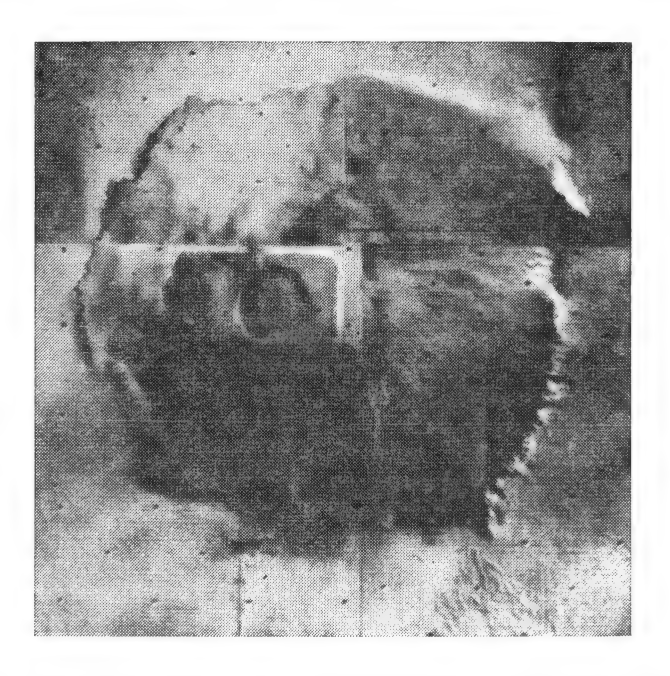


Рис. 55. Олимпийский пик, величайший щитовидный вулкан на Марсе. Диаметр его кратера 40 *км*, а его основания 500 *км*.

области поднимается до $+25°$C, но уже к заходу Солнца спускается ниже нуля, а ночью падает до $-70°$ и ниже. Температура темных пятен несколько выше, чем у светлых областей (на $10°$), так как они лучше поглощают солнечные лучи. Средняя суточная температура там такая же, как на Земле в областях вечной мерзлоты: $-25°$ (для Земли в целом среднегодовая температура $+15°$). Летом температура на Марсе на обращенных к Солнцу склонах бывает днем выше нуля иногда даже в полярных областях, где зимой от-

мечался мороз до —100°С. Измерения теплового радиоизлучения показали температуру около —70° для планеты в целом. По-видимому, эта низкая температура относится к слоям, лежащим под поверхностью, так как она почти не меняется от того, освещен ли Марс Солнцем полностью или частично обращен к нам своей ночной стороной.

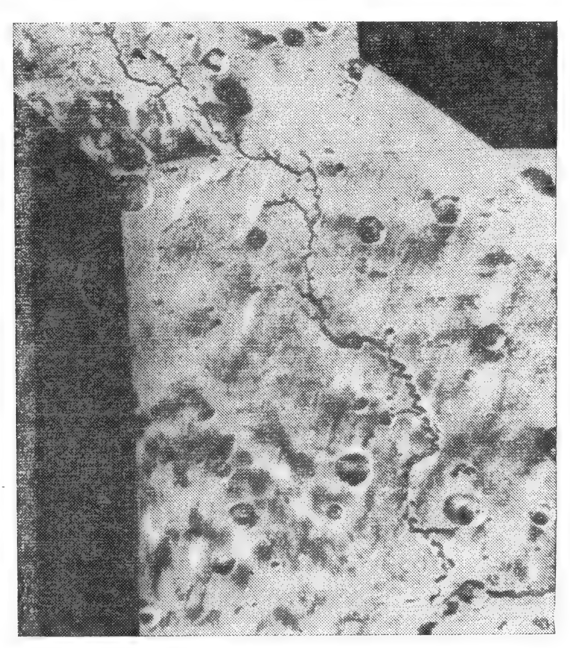


Рис. 56. Русло высохшей реки (?) на Марсе.

На основании достижения геофизики, теоретически установлено, что температура марсианского грунта с ростом глубины должна повышаться, приблизительно как и на Земле, где это повышение составляет приблизительно 30°С на каждый километр глубины.

На температуру поверхности Марса некоторое влияние оказывает атмосфера.

Атмосфера Марса, как и Венеры, состоит в основном из углекислого газа. Во время снижения

спускаемого аппарата «Марс-6» неожиданно были обнаружены признаки присутствия в марсианской атмосфере какого-то инертного газа, вероятно, аргона, причем в очень большом количестве (около 35 %, хотя этот результат нуждается в уточнении и может быть пересмотрен после новых экспериментов). В то же время азот, который в земной атмосфере является

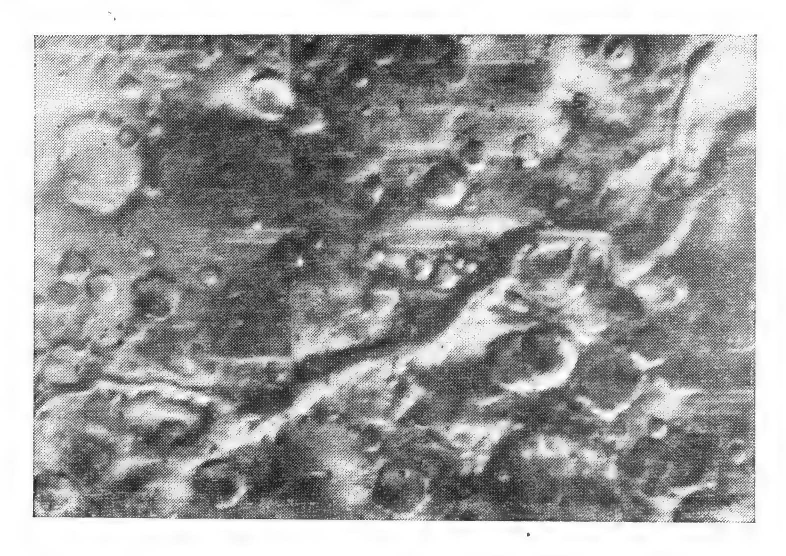


Рис. 57. Долина или русло высохшей реки на Марсе крупным планом.

главной составной частью, на Марсе пока не обнаружен. Это — тоже загадка. Поскольку земной кислород считается продуктом его накопления в итоге миллионов лет деятельности растений, бедность Марса кислородом — не в пользу гипотезы о богатстве его растительностью хотя бы в прошлом.

Изучение оптических особенностей атмосферы Марса позволяет сделать выводы о ее свойствах. С увеличением точности измерений и расчетов приходилось с течением времени принимать все меньшие и меньшие значения для плотности атмосферы Марса. Неточ-

ность оценок плотности была вызвана неизвестностью содержания в марсианском воздухе мельчайшей пыли. Теперь установлено, что давление атмосферы у поверхности около 6 миллибар (1 миллибар = 0,75 *мм* ртутного столба). В земной атмосфере такое давление мы встречаем на высоте около 50 *км*. Давление на горах и в низинах различно и меняется в связи с погодой, с временами года и даже в зависимости от времени суток. То же касается и температуры.

Только в 1963 г. удалось, наконец, окончательно установить, сколько же водяных паров в марсианской атмосфере. Если бы эти водяные пары мы превратили в жидкость, то она составила бы слой всего лишь 10—20 микрон толщиной. В Антарктиде в морозную погоду водяного пара примерно столько же, так как при морозе пар вымерзает и выпадает из воздуха. По спектру в атмосфере Марса найдены кислород и углекислый газ в количестве около 0,1%.

Приборы искусственных спутников Марса показали существование ионосферы в верхних слоях атмосферы Марса. Как и на Земле, этот слой, содержащий много ионов (откуда и его название), состоит, собственно, из нескольких слоев. Главный слой находится на высоте 120 *км*. Днем плотность электронов в нем такая же, как в земном слое E ночью ($10^5$ электронов/*см*$^3$), а ночью раз в 20 меньше.

В космических окрестностях Марса отсутствует радиационный пояс планеты, подобный имеющемуся вокруг Земли. Это объясняется слишком малой напряженностью магнитного поля Марса, обнаруженного магнитометрами станций «Марс-2» и «Марс-3». Магнитное поле Марса приблизительно в 500 раз слабее земного, но все же оно существует — вероятно, за счет конвекции вещества в недрах Марса, которая возможна при наличии в планете расплавленного жидкого ядра.

Слабое магнитное поле, как мыльный пузырь при дуновении, может сильно деформироваться под действием порывов «солнечного ветра», когда на планету налетают потоки электрически заряженных частиц, выброшенных из Солнца. Поэтому будущие

космонавты на Марсе не смогут полагаться на показания компаса и будут вынуждены пользоваться более точными навигационными приборами. Кроме того, передвигаться на поверхности Марса, изрытой метеоритными воронками, будет почти так же трудно, как по Луне. Однако на Луне, как известно, с успехом работали и передвигались советские автоматические луноходы и вездеходы американских космонавтов. В США опубликованы данные о ведущихся разработках специальных электророботов, приспособленных для передвижения на поверхности планет в условиях вакуума и в запыленной атмосфере.

Для создания автоматических приборов для исследований Марса и для проектирования системы жизнеобеспечения космонавтов необходимо хорошо знать физические условия, в которых им придется работать. Кроме того, выяснение физических условий на Марсе позволяет более обоснованно обсуждать вопрос о жизни на нем *).

### ЕЩЕ РАЗ О ЖИЗНИ НА МАРСЕ

Еще недавно знакомые при встрече с астрономом нередко с усмешкой спрашивали его: «Ну, как там у вас марсиане поживают?» Сколько романов, и хороших и плохих, написано о марсианах, не раз эту тему затрагивали и фантастические и бытовые кинофильмы. И мне неизбежно придется здесь поговорить об этом еще раз.

Вопрос о том, существует ли все-таки по соседству с нами жизнь в Солнечной системе,— это вопрос большого мировоззренческого значения. Горячая дискуссия о том, есть ли жизнь на Марсе и какой она может быть, около столетия волновала ученых разных специальностей и всех любителей науки о Вселенной, особенно в связи с открытием на Марсе «каналов». Их геометрическая правильность и ис-

---

*) Вопросы об условиях, благоприятных для зарождения и развития жизни на планете, подробно освещены в книге С. Доула «Планеты для людей», «Наука», 1974.

кусственное происхождение, защищавшееся Ловеллом и другими, давно уже развенчаны. Мы об этом говорили выше. Сейчас такую точку зрения могут защищать только отставшие от науки люди или безответственные фантасты.

Ставятся собственно три вопроса: 1) могла ли на Марсе зародиться жизнь? 2) может ли она существовать там сейчас? 3) есть ли признаки ее существования?

Первые два вопроса при их научной постановке могут опираться лишь на представление о том, что, как и на Земле, жизнь возможна лишь на белковой основе, на углеводородных соединениях. Возможна ли жизнь на другой основе — неизвестно. Поэтому предположения о другой основе жизни беспочвенны, фантастичны и бесплодны. Не существует единых представлений о том, как жизнь возникла на Земле, и представления об условиях на Марсе, существовавших миллиарды лет назад, весьма гипотетичны. Поэтому здесь с уверенностью что-либо сказать нельзя, но в большинстве случаев выводы получаются отрицательные. При современных условиях возникновение жизни на Марсе невозможно. По-видимому, и в прошлом условия на Марсе были неблагоприятными для зарождения жизни. Перенос бактерий и спор с планеты на планету маловероятен и требует особых условий. Если он и есть, то эти организмы должны погибать под действием космических и рентгеновских лучей в мировом пространстве *).

И тем не менее ученые еще недавно считали, что в настоящее время жизнь на Марсе возможна и что даже есть ее признаки. Хотя условия на Марсе крайне суровы, ссылаются на огромную приспособляемость жизни, в частности, и к малой влажности и к низкой температуре, и к ее колебаниям. Конечно, жизнестойкость больше у низкоорганизованных организмов — у бактерий и низших растений.

---

*) Выносливость микроорганизмов рассмотрена в книгах «Проблемы устойчивости биологических систем» (серия «Проблемы космической биологии», том 19), «Наука», 1972; А к с е н о в С. И. и др., Марс как среда обитания, «Наука», 1976.

Обнаружение животной жизни на Марсе пока невозможно, но можно было бы обнаружить растительные покровы, занимающие большие площади. Как мы уже говорили, основным и старейшим доводом в пользу того, что темные пятна Марса — это места, покрытые растительностью, являются их сезонные изменения. Говорили мы и о попытках объяснения этих изменений неорганическими процессами.

Известный русский физик Умов еще в прошлом веке указывал на то, что в случае наличия на планете растительности, в спектре солнечного света, отраженного ею, должна наблюдаться полоса поглощения хлорофилла. Хлорофилл — зеленое красящее вещество растений — поглощает инфракрасные лучи спектра в виде широкой полосы. В спектре темных марсианских пятен хлорофилл не обнаружен.

Защитники существования жизни на Марсе оживились, когда в 1956 г. Синтон (США) сообщил об открытии в инфракрасном спектре «морей» Марса трех полос поглощения, сходных с наблюдаемыми у органических веществ. Но в 1963 г. исследователи установили, что в этом же участке спектра встречаются полосы поглощения и неорганических веществ — карбонатов, например, известняка. В 1965 г. другие исследователи обнаружили, что полосы Синтона дает... и вода, но так называемая тяжелая вода, содержащая вместо обычного водорода тяжелый водород (дейтерий). Оценка количества такой воды, необходимого для возникновения полос Синтона, совпала с упоминавшейся нами выше оценкой количества водяного пара в марсианской атмосфере. Но тогда на Марсе водорода и дейтерия должно быть поровну, тогда как на Земле первого в 5000 раз больше! Попытки объяснить такое различие пока не убедительны. Некоторые ученые полагают, что полосы Синтона возникают... в земной атмосфере и принадлежат молекулам HDO (где D — дейтерий), когда в ней много водяного пара. Но почему эти полосы видны в спектре «морей» и не видны в спектре пустынь Марса? Впрочем, позднее, Синтон сообщил, что первые и вторые наблюдались в разные ночи и, следовательно, при различном

состоянии земной атмосферы. Полосы Синтона требуют дальнейших исследований.

На Марсе трудно ожидать существования высших растений; вероятно, если там они вообще есть, то в форме мхов или лишайников. О развитой животной жизни на Марсе говорить еще труднее, тем более о разумной жизни, о высокой технике *).

## ИСКУССТВЕННЫ ЛИ СПУТНИКИ МАРСА?

У Марса в 1877 г. были открыты два спутника и, как спутников «бога войны», их назвали Деймос и Фобос, что по-гречески означает «ужас» и «страх». Но Ужас — ужасно маленький, а Страх еще меньше. Величина первого из них не более 27 *км*, а второго — 16 *км*. По размерам они сравнимы с самыми мелкими из известных малых планет — астероидов. Возможно, что они и были астероидами, захваченными Марсом «в плен». Случайным образом их существование, без всяких к тому оснований, подозревалось дважды. Как мы увидим в рассказе о метеоритах кольца Сатурна, Кеплер неправильно объяснил фразу Галилея, в которой тот зашифровал свое открытие особенности планеты Сатурн, считая, что Галилей сообщает об открытии им двух спутников Марса. Это было в XVII в., а в XVIII в. английский писатель Свифт приписал сказочным астрономам своей Лапутии открытие у Марса двух спутников.

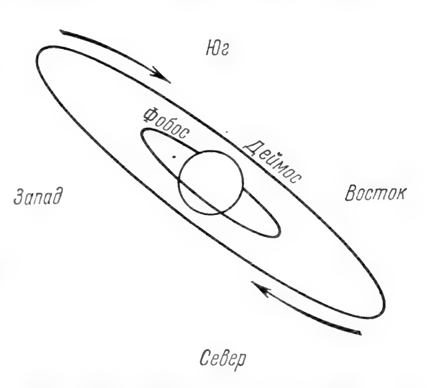



Рис. 58. Орбиты спутников Марса.

*) О новых данных по планетам читайте в брошюре В. Д. Давыдова «Планеты Солнечной системы», «Знание», 1973. Однако и брошюры не поспевают за достижениями науки.

Деймос вращается очень близко к своей планете, на расстоянии 23 500 *км* от ее поверхности, а Фобос на расстоянии всего лишь 9 400 *км*. Поэтому за сутки на Марсе Фобос успевает дважды взойти над горизонтом, пробегая все фазы, подобные лунным. При этом он восходит на западе и заходит на востоке — ведь его период обращения составляет всего лишь 7 час. 37 мин. (Так же ведут себя и близкие к Земле ее искусственные спутники.)

Наблюдая за движениями лун Марса, некоторые астрономы нашли, что период обращения Фобоса уменьшается на одну миллионную долю секунды за сутки, и он медленно приближается к планете. В 1960 г. И. С. Шкловский в поисках причины этого явления рассмотрел математически разные возможные гипотезы. Он заключил, что причиной должно быть сопротивление движению Фобоса, вызываемое атмосферой Марса. Известно, что искусственные спутники Земли, испытывая торможение в атмосфере, также приближаются к Земле и период их обращения уменьшается. Но атмосфера Марса на расстоянии Фобоса крайне разрежена. Чтобы торможение ею сказалось так, как наблюдается, масса Фобоса должна быть очень мала. Средняя плотность его получается тогда в тысячу раз меньше, чем у воды. Это невозможно, и если средняя плотность оценена верно, то при твердой поверхности Фобос должен быть пустым внутри! Но тогда он может быть только искусственным.

Придавал ли этому выводу автор серьезное значение или ему было забавно смотреть, какую сенсацию это вызвало у журналистов? Идея в свете создания искусственных спутников Земли была модной.

Существуют варианты естественного объяснения движения лун Марса. Несколько ученых нашли, что если жесткость коры Марса меньше, чем у Земли, то приливы, производимые в ней Фобосом, могут тормозить движение последнего в согласии с наблюдениями. С другой стороны, В. В. Радзиевский с сотрудниками показал, что если форма спутников Марса сильно отличается от правильной шаровой, то давления солнечных лучей также более чем достаточно,

чтобы вызвать ускорение Фобоса и замедление обращения Деймоса в согласии с наблюдениями. Для

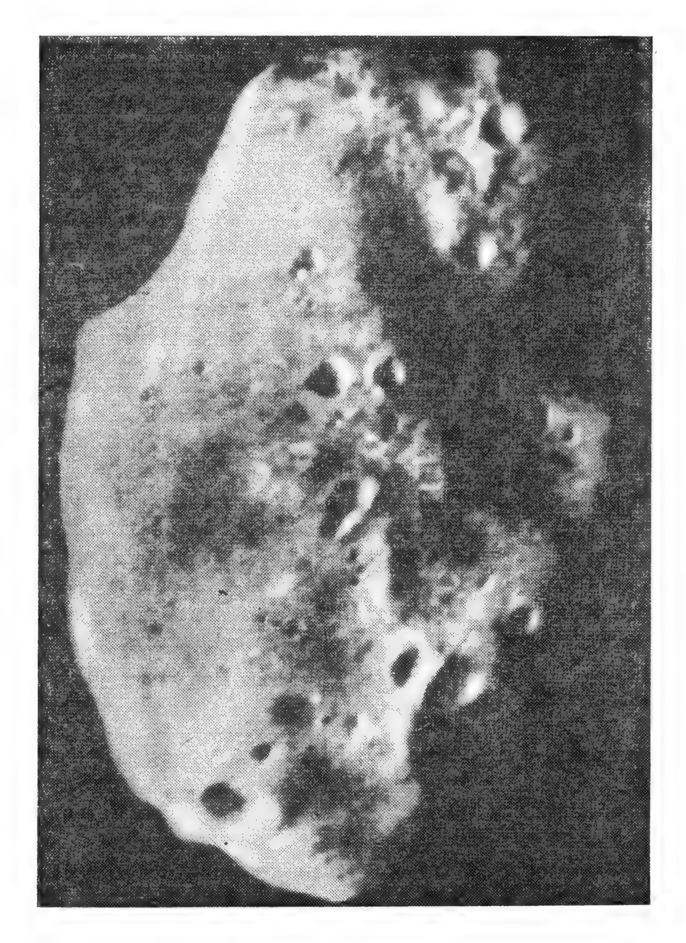


Рис. 59. Фотография Фобоса, сделанная с расстояния 5000 *км* искусственного спутника Марса «Маринер-9».

создания искусственных спутников требуется высокоразвитая техника, следы применения которой на Марсе не обнаружены.

И наконец, всего лишь через десяток лет после неосторожно поднятой шумихи о мнимой искусственности спутников Марса, поспешная гипотеза была «срублена под корень» фотографиями их, сделанными с близкого расстояния «Маринером-9». На снимках прекрасно видно, что оба спутника имеют совершенно неправильную форму — не лучшую, чем у обычных картофелин. Это обломочной формы каменные куски. Но самое важное и поразительное это то, что оба спутника Марса оказались изрыты кратерами! На Деймосе наибольший из кратеров диаметром около двух километров занимает почти $^1/_4$ его «полушария».

Конечно, тут о вулканической природе кратеров не может быть и речи, а произвели их удары метеоритов, вероятно, в далеком прошлом. Гладкую же поверхность Фобос и Деймос приобрели от «обточки» ее ударами мелких метеорных тел.

Итак, у Марса нет искусственных спутников! Так ли? Нет. Ведь мы с вами чуть не забыли, что такие спутники, и в значительном числе, у него есть, но сделанные не воображаемыми марсианами, а жителями Земли. Не испытывая больших возмущений, они будут обращаться вокруг Марса сотни лет или даже сотни миллионов лет. Правда, они малы даже в сравнении с Фобосом и Деймосом. Но ведь сами Деймос с Фобосом ничтожны в сравнении с Ганимедом— спутником Юпитера, который побольше Меркурия...

В прошлом веке пылкие умы допускали, что светлые пятнышки, иногда появляющиеся в определенных местах поверхности Марса,— это световые сигналы марсиан, адресованные людям. Но это, несомненно, горы, на которых выпадает иней. Первые радиошумы, услышанные из Космоса, тоже пытались приписать сигналам жителей Марса. Я бы сказал, что если бы марсиане и были и пытались установить связи с жителями Земли, то давно махнули бы на нас рукой и перестали сигнализировать. Если они давно опередили нас в технике, то должны были бы разочароваться, так как даже двадцать лет назад с Земли им не могли ответить. Стоит ли тысячелетиями посылать сигналы, не получая ни ответа, ни привета...

Не было бы ничего угрожающего для философской идеи о жизни, если бы оказалось, что в Солнечной системе жизнь есть только на Земле. Ведь Солнечная система — это еще не Вселенная! В нашей (только в нашей!) звездной системе, называемой Галактикой, имеется более ста миллиардов звезд, и если только у одного из каждой тысячи солнц найдется по обитаемой планете, то это составит сто миллионов обитаемых планет. Умножьте это на бесконечно большое число звездных систем во Вселенной и вы получите бесконечно много обитаемых планет. Разрешите закончить стихами поэта А. Коваленкова:

«Загадочно мерцая в окулярах,
Плывет сквозь тьму космических глубин
Оранжевый сосед земного шара,
Фантазий и утопий властелин —

Марс; миллионоверстным расстояньем
Уменьшен, в детский мячик превращен,
Плывет, мерцает гаснущим сияньем
Закатных, нам неведомых времен.

Что кроется в его немых пустынях?
Какая жизнь, чтоб не сгореть до тла,
Каналов сеть — систему странных линий
От полюса к экватору сплела?

Кто дышит атмосферой разреженной,
И, может быть, следит который век
За нашею планетою зеленой,
Где марсиан придумал человек?

Трехногие гиганты страшной сказки,
Железные горбы багровой тьмы...
Уэллс их создал людям для острастки,
Пугая слишком смелые умы.

Нет, не затем мечта стремилась к свету
И сердце Циолковского влекла,
Чтоб вестницей войны послать ракету
Туда, где жизнь спасения ждала.

Не угадать и не назначить срока,
Но он настанет — этот день и час,
Когда мы встретим тех, кто издалека,
Надежды не теряя, верил в нас».

## ЕСТЬ ЛИ ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ?

Такой вопрос представляется не только излишним, но и странным. Мы-то знаем, что жизнь вокруг нас на Земле существует! Но такой вопрос могут задавать себе разумные жители других миров так же, как мы задаем вопрос, есть ли жизнь на Марсе или на других небесных телах.

А как они могут найти ответ на этот вопрос?

Конечно, мы выясняем физические условия на планетах, сравниваем их с земными и на основании этого заключаем о том, может ли быть на них жизнь, сходная с земной. Научное решение вопроса может опираться только на опыт наблюдения жизни на нашей Земле. Научно можно мыслить жизнь только на той же основе, какая известна на Земле. Например, мы знаем, что живой белок — основа развитой жизни — при высокой температуре свертывается. Но... нельзя полностью поручиться за пределы возможного приспособления жизни и даже за возможность жизни на других основах. Мы будем говорить здесь о непосредственно видимых следах разумной деятельности. Их в принципе можно видеть с более далеких расстояний, чем сами разумные существа. Лучшие снимки поверхности Марса, полученные на последних космических аппаратах с высоты менее 2 тыс. *км* и позволяющие различить образования размером от нескольких сотен метров, не показывают следов разумной деятельности. Пусть разумной жизни на Марсе нет, это почти несомненно. Но насколько видна издали разумная деятельность, заведомо существующая на Земле? Этот вопрос полезно выяснить и им занялся американский ученый Саган.

В 1966 г. он и его сотрудники просмотрели огромное число фотографий Земли, полученных с метеорологических спутников и дававших разрешение до 2—0,2 *км*. Можно было ожидать, что наиболее заметными следами разумной деятельности при этом будут сезонные изменения вида больших, правильно ограниченных полей, засеянных сельскохозяйственными культурами. Но контрастность их изображений мала,

а их сезонные изменения маскируются изменениями угла падения солнечного света и угла, под которым сделан снимок.

Более обещающими являются большие искусственные сооружения прямолинейного вида — дороги, мосты, плотины, следы за кормой кораблей в море или белые полосы, оставляемые самолетами. Их следы разыскивались на тысячах снимков, свободных от облаков.

Было найдено лишь одно четкое указание на техническую культуру: яркая линия только что законченного отрезка автострады. Более сомнительно изображение в районе узкого пролива между Канадой и Гренландией. Оно состояло из длинных полосок — белой и черной, тянущихся параллельно друг другу над покровом облаков. Возможно, что это был след самолета и его тени или облако, оставленное реактивным самолетом. Еще одним следом человеческой деятельности были белая сетка просек в лесу, на которые выпал свежий снег.

Авторы заключили, что если бы воображаемые марсиане имели снимки Земли в таком же количестве и такого качества, какие были получены «Маринером-4» — первой автоматической станцией, пролетевшей над поверхностью Марса на высоте 12 тыс. *км*, то по ним нельзя было бы найти никаких признаков разумной жизни на нашей планете.

## ГИГАНТ ЮПИТЕР И ОКОЛЬЦОВАННЫЙ САТУРН

За орбитой Марса величественно и не спеша обращаются вокруг Солнца гиганты среди планет — огромные Юпитер и Сатурн. По диаметру Юпитер больше Земли в 13, Сатурн же — «только» в девять раз, но зато природа окольцевала его огромным плоским кольцом, которому, может быть, завидуют все остальные планеты. Но об этом кольце поговорим немного позже. Если хотите, можете сами подсчитать, во сколько же раз поверхность и объем Юпитера и Сатурна больше земных. Если же не хотите, то посмотрите в любую таблицу данных о планетах. Из нее вы

узнаете более точно и периоды обращения планет вокруг Солнца, а я скажу только, что период обращения Юпитера около 12, а Сатурна около 30 лет — движутся они действительно не спеша. Но не спешат они не потому, что солидны (ведь Юпитер в 300 раз массивнее Земли), а потому, что эти периоды определяются их расстоянием от Солнца и массой последнего — по закону тяготения.

Известный французский популяризатор Камилл Фламмарион в прошлом веке поражал своих читателей точностью, с которой известны расстояния или периоды обращения планет и т. п. Но я убедился, что читатель часто вовсе не поражался этой точности классической астрономии. Когда он узнавал, что, скажем, расстояние Земли от Солнца известно было с возможной ошибкой в 500 000 *км*, то он восклицал: «Нечего сказать — хороша точность!» Так говорят в тех случаях, когда не представляют себе, что всегда существеннее относительная, а не абсолютная точность. 500 000 *км* от расстояния Земли до Солнца составляет всего лишь 0,3%. С такой точностью вы едва ли измерите длину своей комнаты, хотя сделать это легче, чем установить наше удаление от Солнца...

Между прочим, в последние годы расстояние от Земли до Солнца, а это — единица измерения всех расстояний в Солнечной системе,— найдено с точностью $\pm 0{,}001\%$ по результатам радиолокационных измерений удаленности соседних с Землей планет.

В этой книге я не стремлюсь утомлять читателя точными числами (когда они известны!), которые все равно не запомнить. Для них есть справочные таблицы. Поразительными сейчас являются не точность данных наземной астрономии, а часто очень еще неточные данные, добытые астрофизикой о явлениях в природе, о существовании которых иногда нельзя было и догадаться, которые нельзя было и придумать. К концу книги примеры этого будут все чаще.

К группе планет-гигантов относятся и Уран с Нептуном, хотя они значительно меньше Сатурна.

У всех четырех планет средняя плотность мала — близка к плотности воды, а у Сатурна даже ниже (0,7).

Исследования сплюснутости этих планет у полюсов вследствие вращения и анализ влияния сплюснутости планеты на движение спутников приводят к выводу, что в них масса сосредоточена к центру гораздо сильнее, чем у планет типа Земли. Достаточно плотное ядро планет типа Юпитера содержит большую часть массы планеты. Видимый же нами объем их определяется поверхностью непрозрачной обширной атмосферы, сжатой внизу давлением вышележащих слоев до состояния, подобного состоянию твердого тела. Когда мы на этот огромный видимый объем делим известную нам массу планет, то и получаем среднюю их плотность, которая нас поражает своей малостью.

В последнее время расчеты ряда астрофизиков приводят к выводу, что легчайшие газы, водород и гелий, составляют в Юпитере до 90% по массе и что в центре температура планеты может достигать 100 000°. В то же время снаружи вследствие условий теплопроводности Юпитер может быть таким холодным, каким мы его наблюдаем. При такой картине большая плотность ядра Юпитера обусловлена не столько тяжелыми химическими элементами, сколько сильно сжатым водородом.

Все планеты-гиганты окружены очень плотными облачными атмосферами, состоящими в основном из водорода и гелия с небольшой примесью метана и аммиака. Впрочем, последний вымерзает тем больше, чем планета дальше от Солнца, т. е. чем на ней холоднее.

Присутствие аммиака и метана на больших планетах объясняется низкой температурой. На Земле эти газы тоже образуются, но они у нас слишком скоро разлагаются на составные части солнечным светом, который на Земле более интенсивен. Кроме того, для образования метана и аммиака в большом количестве необходим свободный водород, а атомов его в атмосфере Земли почти нет. Между тем боль-

шие планеты с самого начала своего образования удерживали свободный водород, несмотря на его летучесть. Это обеспечивалось и низкой температурой и большой силой тяжести у их поверхности.

Все четыре планеты-гиганта вращаются быстрее остальных, особенно Юпитер. Более того, облака их на разных широтах вращаются с разной скоростью. Вращение их быстрее всего на экваторе (у Юпитера период 9 час. 50 мин.). Хотя у планет-гигантов и плотность мала, и вращение не как у твердого тела, но это не значит, что сами эти планеты огненно-жидкие, как некогда допускали (тогда, когда физика еще мало помогала астрономам).

Когда стало возможно измерять температуры планет по их инфракрасному излучению, то оказалось, что температуры планет-гигантов очень низки и допущение их огненно-жидкого состояния пришлось оставить. Температура Юпитера оказалась около —140°, а Сатурна около —155°. В 1963 г. при помощи 5-метрового телескопа удалось измерить даже распределение температуры по диску Юпитера. Неожиданно оказалось, что эта температура везде практически одинакова, но темные полосы облаков теплее, чем светлые. В центре диска температура —141°,5, а на утреннем и вечернем краю и даже вблизи полюсов ниже всего лишь на несколько градусов. В 1962 г. дважды наблюдалось явление, пока еще не объясненное с уверенностью. В том месте, где по облакам планеты бежала тень спутника (и где на Юпитере происходило затмение Солнца), температура оказалась на 50° выше, чем по соседству. Но уже через четверть часа после схождения тени температура падала до нормы. Позднее другие наблюдатели этого явления не обнаружили, поэтому оно требует дальнейшего подтверждения. Сравнение измерений излучения тепла Юпитера с расчетом энергии, получаемой им от Солнца, показывает превышение первого над вторым. Приходится заключить, что Юпитер имеет собственные источники тепла.

Большое пятно красноватого цвета, наблюдающееся по крайней мере 80 лет на Юпитере, когда-то

считалось озером раскаленной лавы на его твердой поверхности. Знаменитый русский астрофизик Ф. А. Бредихин еще в 70-х годах прошлого века подробно изучал Красное пятно. Предполагалось, что идущие от него воздушные течения разгоняют над ним облака и делают его видимым. Теперь можно думать, что оно состоит из какого-то крайне легкого вещества, но твердого, а не жидкого, и поддерживаемого достаточно плотной атмосферой Юпитера на большой высоте над его твердой поверхностью. Размер Красного пятна $10 \times 45$ тыс. *км*. На его твердость указывает то, что оно как нечто целое перемещается по долготе. Все же, однако, Красное пятно Юпитера остается загадкой.

Мы упоминали, что скорость вращения облаков Юпитера уменьшается на несколько минут в сутки в умеренных широтах по сравнению с экваториальными.

Недавно выяснилось, что по временам скорость вращения, определяемая по наклону в спектре полос поглощения аммиака, отличается километра на два в секунду от скорости, определяемой по наклону фраунгоферовых линий. Последние производятся солнечным светом, отраженным от облаков Юпитера. Аммиачные пары расположены в более высоком слое атмосферы Юпитера. Если это так, то, значит, в верхних слоях по временам дуют ветры, как недавно обнаружено в земной стратосфере, но со скоростью в 40 раз большей, чем в нашей тропосфере. Не исключена, впрочем, возможность, что различие в наклоне разных линий спектра Юпитера вызвано не эффектом Доплера, а какой-либо иной причиной.

У поверхности облачного слоя Юпитера атмосферное давление составляет 1—2 атмосферы, а плотность раз в пять меньше, чем у поверхности Земли (как у нас на высоте около 10 *км*). Облака Юпитера, вытянутые параллельно его экватору вследствие быстрого вращения планеты, легко видны в небольшой телескоп, как и значительное сжатие планеты у полюсов, также вызванное быстротой вращения Юпитера. Вероятно, в составе атмосферы Юпитера есть и водяные пары и более сложные молекулы, в частности, ацети-

лен. В полосах Юпитера постоянно происходят изменения и только Красное пятно (за последние десятилетия утратившее свой красный цвет) является единственной постоянной деталью на его диске.

Из наблюдений при помощи межпланетных станций «Пионер-10» в 1973 г. и «Пионер-11» в 1974 г. следует, что у Юпитера есть водородная и гелиевая корона. Верхний слой облаков в атмосфере его состоит из перистых облаков аммиака. По данным, полученным еще из наземных наблюдений, Юпитер излучает тепла в $2\ {}^1/_2$ раза больше, чем он ее получает от Солнца.

От Юпитера к нам непрерывно идет его радиоизлучение переменной интенсивности, иногда дающее «всплески». Оно вызывается, по-видимому, плазменными волнами в его ионосфере. Обнаружилось, что эти радиовсплески связаны с положением на орбите одного из спутников Юпитера, называемого Ио. Ио сам обладает магнитным полем и ионосферой, взаимодействующими с ионосферой Юпитера. Максимум излучения соответствует моментам восхода и захода Ио для центра диска планеты. Еще раньше было обнаружено, что искусственные спутники Земли производят заметную ионизацию в ее магнитосфере. Возможно, что в системе Юпитера наблюдается аналогичное явление и резкое повышение электронной концентрации сопровождается радиоизлучением. Это одно из свидетельств существования у Юпитера мощного магнитного поля и связанного с ним радиационного пояса.

Данные о магнитосфере Юпитера уточнены после запуска к нему межпланетной станции США «Пионер-10», стартовавшей в марте 1972 г. и прошедшей на расстоянии от поверхности Юпитера, в 130 000 *км*, в декабре 1973 г.

«Пионер-11» был запущен позже и встретился с Юпитером в декабре 1974 г., а затем он проследовал к орбите Сатурна. Магнитное поле Юпитера противостоит межпланетному магнитному полю, создаваемому солнечным ветром. На их стыке скорость солнечного ветра падает вдвое, до 200 *км/сек*, а тем-

пература его поднимается от 10 000° до миллиона градусов. В результате подтвердилось, что Юпитер окружен мощными поясами частиц высокой энергии, в 10 000 раз более интенсивными, чем вокруг Земли. Эти пояса простираются до $2\frac{1}{2}$ млн. *км*. Вместе с тем приборы «Пионера-10» установили, что в атмосфере Юпитера содержится около 27% гелия. Он был обнаружен по свечению линий его спектра в наружных слоях атмосферы.

Наличие магнитных полей у Земли и у быстрее вращающегося Юпитера и отсутствие его у медленно вращающихся Луны, Венеры и Меркурия подтверждает гипотезу, что магнитное поле вызывается вращением и потоками в жидких ядрах планет, у которых они существуют.

Об атмосфере Сатурна и вообще о его природе можно сказать то же, что о Юпитере, с тем отличием, что он меньше изучен. Полосы на его диске малозаметны и радиоизлучение его еще не обнаружено.

Юпитер окружен свитой из 12 спутников. Среди них четыре наибольших резко выделяются среди остальных. Их открыл еще Галилей и вы их можете увидеть даже в бинокль. Все они обращаются, «повернувшись» к Юпитеру одной и той же стороной, как Луна относительно Земли, и по той же причине. Их вращение было заторможено приливным трением.

Из этих четырех спутников наибольшие III (Ганимед) и IV (Каллисто) — они побольше, чем Меркурий. Спутники I и II, Ио и Европа, раза в полтора меньше. По временам они проходят между Юпитером и Солнцем, и тогда их тени скользят по облакам планеты, а иногда они скрываются в тени Юпитера. Эти затмения галилеевых спутников Юпитера играли в прошлом большую роль. Наблюдая их, Рёмер в Дании в 1675 г. впервые установил конечность скорости распространения света и ее величину. Кроме того, сравнение моментов затмений, предвычисленных по гринвичскому времени, с моментами их, наблюденными по местному времени, долго служили для определения географических долгот местностей.

Диски спутников едва различимы в сильнейшие телескопы. Судя по спектру, у них нет атмосфер. Два наибольших спутника по своей массе могли бы иметь атмосферы из метана, но их расстояние от Солнца вызывает достаточное их нагревание, чтобы такие атмосферы не могли вокруг них удержаться.

У Ганимеда при таком же размере, как у Каллисто, яркость почти втрое больше. Это может быть вызвано тем, что он покрыт слоем белой, замерзшей углекислоты или других газов. Это подобие снега, которым перекладывают мороженое,— бывшая углекислая атмосфера Ганимеда, которую он был способен удержать. Лакомясь мороженым, вспоминайте иногда о далеком Ганимеде, стынущем в морозной дали межпланетных пространств.

Массы главных спутников, определенные по их взаимным возмущениям, известны не точно. Но если они не очень ошибочны, то плотности их невелики, а у Каллисто плотность в среднем получается даже 0,6. Возможно, что он состоит из замерзших газов. Замерзшие газы, по-видимому, покрывают поверхность и других спутников, так как они отражают солнечный свет гораздо лучше, чем Луна.

С другой стороны, из данных, полученных «Пионером-10» о массе спутников, оказалось, что плотность спутника Ио равна 3,5 *г/см*$^3$ (как у Луны).

Остальные 8 спутников Юпитера светятся в 1000, и даже в 100 000 раз слабее, чем главные спутники, и видны лишь на фотографиях, полученных сильнейшими телескопами. Это очень небольшие тела, и возможно, что они, как и спутники Марса, являлись в прошлом астероидами, которые «неосторожно» приблизились к могучему Юпитеру и были захвачены им в плен. В пользу такой возможности говорит и их большое расстояние от планеты и то, что три из них обращаются в направлении, обратном движению остальных спутников. Движение восьмого спутника неустойчиво. Возмущение со стороны Солнца сильно меняет его орбиту и за ним трудно следить, не подсчитав заранее, где же он должен быть виден в данное время.

Свита девяти спутников Сатурна несколько малочисленнее свиты Юпитера, но его главный спутник, Титан, немного больше главных спутников Юпитера и другие не так малы, как остальные спутники Юпитера. При этом Феба имеет обратное движение, а Титан, единственный из спутников в Солнечной системе, окружен атмосферой, состоящей из метана, быть может, с примесью аммиака.

Атмосферы Ио и Ганимеда сравнительно с ней ничтожны. Видимая нами яркость Япета меняется в пять раз, потому что одна его сторона гораздо светлее, чем другая. Все яркие спутники Сатурна, кроме Титана, обращаются, будучи повернуты к нему одной и той же стороной, как показали измерения их блеска в 1971 г.

## МЕТЕОРИТЫ КОЛЬЦА САТУРНА

Метеоритами, обнаруженными в Солнечной системе, являются не только те, которые падают на нашу собственную планету, но и те, которые постоянно кружатся около далекого Сатурна.

Замечательное тонкое кольцо, окружающее Сатурн, является, можно сказать, украшением не только его самого, но и украшением всей Солнечной системы. Для человека, в первый раз приникающего глазом к телескопу, после Луны — это, пожалуй, наиболее любопытное зрелище. Этим зрелищем и мы, и Сатурн обязаны метеоритам.

Однако понадобилось больше двух веков, чтобы разгадать природу этого исключительного и единственного образования в нашей Солнечной системе.

Галилей, направлявший свой телескоп то на одно, то на другое светило и почти всякий раз открывавший что-либо неожиданное и не укладывавшееся в рамки птолемеевых и средневековых представлений о Вселенной, был очень озадачен «поведением» Сатурна. В свой несовершенный телескоп, не дававший четких изображений и увеличивавший всего лишь в 30 раз, Галилей увидел по бокам Сатурна какие-то придатки. Что это за придатки, разглядеть ему никак не

удавалось. Между тем Галилей видел в действительности «ушки» кольца, т. е. части кольца сбоку от планеты и темные промежутки, отделяющие кольцо от шара планеты. Эти промежутки внушили Галилею мысль, что у Сатурна по бокам находятся две меньшие планеты, нечто вроде спутников. Ведь открыл же он четырех спутников, сопровождающих Юпитер наподобие свиты. Нечто подобное может быть, вероятно, и у Сатурна,— думал Галилей, а рассмотреть кольцо, существование которого никто бы и придумать не мог,— было невозможно.

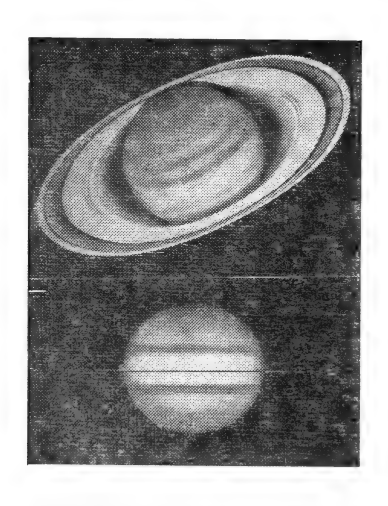


Рис. 60. Сатурн и его кольца.

Кто из ученых, стоявших на пороге замечательного открытия, не трепетал, снедаемый двойственным чувством: ревнивой гордости и опасения грубой ошибки! Сообщить о поразительной новости, как говорится, «и хочется и колется».

Во времена Галилея ученые находили из этого положения такой выход. Обнародовалась шифрованная краткая запись об открытии, расшифровать которую, кроме автора, никто не мог. Проходило время, автор успевал проверить окончательно свое открытие и тогда расшифровывал свое предварительное загадочное сообщение, сохранив, таким образом, за собой первенство (приоритет).

К этому способу прибег и Галилей, опубликовав такую шифрованную запись, называемую анаграммой:

| Smaismrmielmepoetaleumibuvnenugttaviras |
|---|

Эти латинские буквы, переставленные в должном порядке, образовывали фразу на латинском языке

(на котором тогда по преимуществу писали ученые всех стран), извещающую об открытии Галилея.

Нетерпеливый должен быть терпелив! Кто хочет поторопиться узнать об открытии,— переставляй эти буквы в разном порядке до тех пор, пока не получится осмысленная фраза! А кто поручится, что из этих же букв нельзя составить совершенно другую фразу?

В математике теория сочетаний позволяет сосчитать, сколько перестановок (с повторениями) можно сделать из этих 39 букв. Их число равно

$$\frac{39!}{5!\ 3!\ 2!\ 2!\ 5!\ 2!\ 4!\ 2!\ 3!\ 3!\ 4!},$$

что составляет 35-значное число! (Везде восклицательный знак после цифры означает произведение всех целых чисел от 1 до этого числа, например 39! означает: $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \ldots \times 38 \times 39$.)

Едва ли вы решитесь на попытку расшифровать эту запись! Но Кеплер, знаменитый современник Галилея, один из основоположников современной астрономии, решился. Прославленное терпение Кеплера, без которого он не мог бы открыть свои знаменитые законы движения планет, было беспримерно. И Кеплер расшифровал анаграмму Галилея (опустив 2 буквы) так:

| Salve, umbistineum geminatum Martia proles. |
|---|

В переводе на русский язык это означало:

| «Привет вам, близнецы, Марса порождение» |
|---|

и отражало предположение Кеплера, что у Марса должны быть два спутника, которые и открыл Галилей.

Кеплер думал, что у Марса, как планеты, находящейся между Землей с одним спутником и Юпитером с четырьмя спутниками, тогда только что открытыми, должно быть именно два спутника. Как известно,

у Марса действительно обнаружили два спутника, но лишь $2\ ^1/_2$ столетиями позднее, а у Юпитера их известно теперь уже не 4, а 13.

Увы, труд Кеплера оказался напрасным, ибо анаграмма Галилея, расшифрованная им позднее, после исключения 2 букв (а их он включил в тайнопись, чтобы труднее было догадаться) означала:

Altissimum planetam tergeminum observavi,

т. е.

«Высочайшую планету тройною наблюдал»,

так как Сатурн, как наиболее удаленная от Солнца планета среди тогда известных, назывался «высочайшей» планетой. Аллегорически Галилей писал еще, что Сатурна (названного так в честь дряхлого бога Времени и Судьбы) поддерживают по бокам двое служителей...

Увы, скоро служители покинули своего старца, так как через несколько лет Галилей перестал видеть эти придатки и усомнился в своем открытии. Дело же заключалось в том, что в определенные периоды Сатурн на своем пути около Солнца поворачивается так, что его тонкое кольцо обращается к Земле своим ребром. Тогда оно не видно даже в самые сильные телескопы, а за несколько дней до «исчезновения» оно видно лишь, как тончайшая светлая игла, «пронзающая» шар Сатурна. В телескопы средней силы, а тем более в такой, какой был у Галилея, кольцо совершенно перестает быть видимо; кольцо, как говорят, исчезает.

Это выражение не раз вело к недоразумениям и, например, в 1921 г. ряд провинциальных газет напечатал сенсационное сообщение своих ретивых, но мало осведомленных корреспондентов о том, что «Кольцо Сатурна пропало!», т. е. разрушилось, а некоторые из них уже совсем от себя добавляли: «и осколки его летят к Земле, грозя столкновением».

Кольца Сатурна, «исчезая» каждые 15 лет, на самом деле нам не доставляют этим никакой неприятности, а наоборот, оказывают как бы любезность, позволяя обнаружить их крайнюю тонкость. Правильную модель кольца Сатурна мы получим, если вырежем из тончайшей бумаги кольцо около 30 *см* диаметром.

В 1966 г. за девять месяцев Земля трижды пересекала плоскость Сатурнова кольца и оно исчезало, а дважды оно было видно своей теневой стороной, оставаясь узким. Следующий раз такое событие произойдет в 1980 г. Иногда кольцо поворачивается или, как говорят, раскрывается, так что оно все прекрасно видно, но никогда все же мы его не видим «плашмя», никогда его края благодаря проекции не принимают форму круга, каковыми они являются на самом деле.

Распознать кольцо Сатурна и объяснить изменения его вида удалось лишь лет через пятьдесят после Галилея голландскому ученому Гюйгенсу. Но и он, как Галилей, начал с опубликования анаграммы

> Aaaaaaa, ccccc, d, eeeee, g, h, iiiiiii, llll, mm, nnnnnnnnn, oooo, pp, q, rr, s, ttttt, uuuuu

и лишь через три года, окончательно убедившись в правильности своих первоначальных заключений, сообщил смысл этой загадочной группы букв:

> Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato,

или

> «Кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклоненным».

Позднее в кольце была обнаружена темная щель, концентричная с его краями, делящая кольцо на две части — внутреннюю и внешнюю, или на кольца «А» и «В». Она получила название щели Кассини, по фамилии ученого, впервые ее заметившего. Потом были

обнаружены еще щель Энке, более узкая, и «креповое кольцо», самое внутреннее и едва светящееся. Поэтому часто говорят не о кольце, а о *кольцах* Сатурна.

Со временем стало выясняться, что кольцо Сатурна не сплошное, и не только в том смысле, что это не *одно* сплошное кольцо.

Не раз замечали, что через кольца просвечивают звезды и при этом почти не ослабляются в свете. Значит, в них много промежутков и весьма больших,

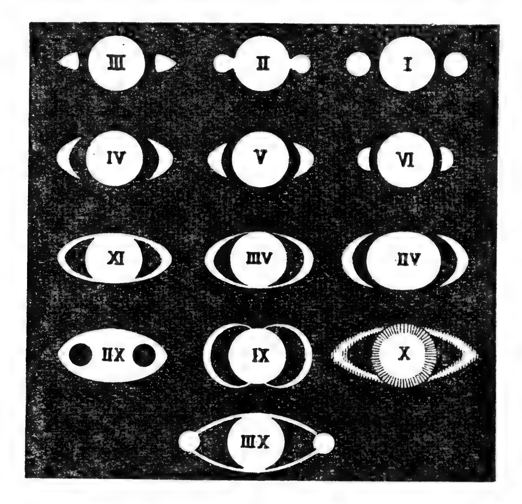



Рис. 61. Старинные зарисовки Сатурна.

через которые звезда светит как лампочка сквозь решетчатое окно. Кроме того, однажды видели, как один из спутников Сатурна погрузился в то место, где должна была располагаться тень колец. В тени внешнего яркого кольца спутник перестал быть видим, но в тени внутреннего кольца его яркость лишь слегка ослабилась. Значит, внутреннее кольцо довольно прозрачно, а во внешнем кольце просветов между частицами очень мало.

Теоретические исследования устойчивости кольца, подверженного притяжению Сатурна и притяжению открытых впоследствии спутников этой планеты,

показали, что сплошное твердое или жидкое кольцо было бы разрушено этим тяготением. Оно не могло бы существовать, а раз так, то, очевидно, существующее кольцо состоит из отдельных небольших, но чрезвычайно многочисленных кусочков,— кусочков такого размера, какого бывают метеориты. К такого рода заключениям пришло несколько ученых, изучавших этот трудный математический вопрос.

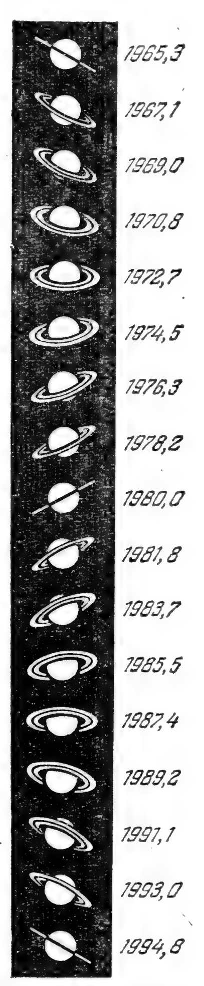


Рис. 62. Изменение вида колец Сатурна.

Окончательно и бесспорно метеоритное строение кольца Сатурна доказали академик А. А. Белопольский и Килер (США). Замечательный ученый, один из основоположников астрофизики, Белопольский совершенно правильно рассудил, что спектральный анализ может тут сказать решающее слово. Если кольцо сплошное и вращается как твердое тело с одинаковой угловой скоростью, то линейная скорость вращения частиц кольца должна расти пропорционально их расстоянию от центра Сатурна. Если же кольцо состоит из отдельных метеоритов, то каждый из них должен двигаться около Сатурна независимо от других по своей собственной орбите, как маленький спутник планеты. В этом случае скорость их движения должна определяться законами Кеплера, и внутренние части кольца должны вращаться быстрее наружных.

Смещение спектральных линий (по принципу Доплера) позволяет определить скорость источника света относительно наблюдателя. Один край сатурнова кольца приближается к нам при вращении, другой с такой же скоростью удаляется. Белопольский получил спектр от разных частей кольца и убедился в том,

что действительно скорость внутренних частиц в кольце (20 *км/сек*) больше скорости наружных частиц (16 *км/сек*). Мало того, оказалось, что скорости частиц в зависимости от их расстояния от центра Сатурна меняются в точности, как это должно быть при движении по законам Кеплера: квадраты периодов их обращений пропорциональны кубам их расстояний от центра планеты.

В 1934 г. академик Г. А. Шайн в Симеизской обсерватории в Крыму вновь исследовал спектр Сатурна, но уже с другой целью. Его интересовал размер частиц сатурнова кольца, который непосредственно определить не удается. Ведь будь эти метеориты в несколько километров поперечником, их дисков на таком огромном расстоянии все равно не было бы видно. Они представляются просто светящимися точками, которые благодаря густоте своего расположения и многочисленности сливаются для нас в яркое и сплошное на вид кольцо.

Сравнение спектра кольца Сатурна со спектром Солнца показало, что между ними нет заметных различий, а это означает, что частички кольца должны быть во много раз больше длины световой волны, т. е. значительно больше тысячной доли миллиметра. Если бы они являлись пылинками, у которых размеры сравнимы с длиной световой волны, то из состава падающего на них солнечного света они рассеивали бы сильнее всего голубые лучи. В результате кольца Сатурна отражали бы голубые лучи лучше, чем остальные, их цвет был бы голубее цвета Солнца, и голубая часть спектра колец была бы ярче, чем в спектре Солнца. Так же как частицы такой мельчайшей пыли, ведут себя и молекулы воздуха. Это их свойство и придает небу голубой цвет, делает голубую часть спектра неба более яркой, чем в спектре Солнца, свет которого молекулы воздуха рассеивают и делают дневное небо светлым. По распределению энергии в спектре света, отраженного кольцом Сатурна, оно очень сходно с обыкновенным льдом, но не с замерзшей углекислотой. По-видимому, частички кольца покрыты слоем льда или даже состоят из него.

К сожалению, из упомянутых данных нельзя определить наибольшую возможную величину частиц сатурнова кольца,— нет ли среди них таких, которые подобны обычным метеоритам, падающим на Землю, или даже таких, которые по своей величине сравнимы с мелкими астероидами. Изучение изменения яркости колец в зависимости от угла, под которым мы на них смотрим, приводит к выводу, что среди составляющих их частиц большинство отбрасывает довольно длинные тени и, следовательно, имеет размеры скорее порядка размеров метеоритов, чем размеров метеоров.

Доктор физико-математических наук М. С. Бобров, будучи моим учеником, еще до Великой Отечественной войны заинтересовался тайной строения кольца Сатурна и впоследствии, сопоставив все данные оптических и других наблюдений, заключил, что в среднем частицы кольца имеют размер около метра. В позднейшей работе он получил значительно меньшие размеры — от 0,35 до 35 *мм*. Обнаруженная затем медленность прогревания частиц кольца Солнцем после выхода их из тени говорит в пользу первого вывода: о более крупном размере частиц. В пользу частиц порядка метра снова говорят результаты радиолокации Сатурна, осуществленной впервые в 1973 г. От самой планеты отраженный радиосигнал не был получен, а от кольца сигналы отразились с большей силой, чем ожидалось. Из этого был сделан вывод, что кольцо состоит из метровых, а может быть, и бóльших глыб угловатой формы.

Внутреннее, креповое кольцо Сатурна оказывается по данным академика Г. А. Шайна более голубоватым, т. е. оно отчасти должно состоять и из мельчайших пылинок, по размерам сравнимых с длиной световой волны.

Полная ширина кольца Сатурна так велика, что по нему, как по дорожке, свободно мог бы катиться земной шар, диаметр которого (12 740 *км*) в пять раз меньше ширины кольца. Из трех его главных частей — средняя наиболее яркая и плотная (кольцо «В») шириной 26 000 *км*. Щель Кассини, отделяющая

от него самое внешнее кольцо «А», имеет в ширину 5000 *км*, а ширина кольца «А» — 16 000 *км*. Полупрозрачное, крепoвое кольцо «С» светится слабо и позволяет видеть сквозь него поверхность планеты; его ширина 18 000 *км*. Представьте себе теперь, что при такой ширине толщина колец лежит в пределах $1\,^1/_2$—3 *км*!

Заключение об общей массе кольца можно вывести, исходя из теории его устойчивости. Масса колец не больше $^1/_4$ массы Луны и, вероятно, гораздо меньше, как это было найдено из наблюдений над возмущениями, производимыми в движении спутников Сатурна притяжением кольца. Кольца и спутники взаимно возмущают друг друга.

Насколько больше солнечного света отражает эта небольшая масса, чем та же масса, собранная в один шар! Если бы четверть лунной массы мы превратили в метеориты и разместили их в кольце кругом Земли, то получили бы освещение в тысячи раз более сильное, чем то, которое получаем теперь от своего спутника.

Как интересно было бы перенестись на Сатурн и любоваться оттуда его кольцами!

Увы, тут нас ожидало бы разочарование, так как от полюса до широты 64° на Сатурне кольца не видны вовсе — их загораживает выпуклость шара самой планеты и лишь в экваториальной области планеты между широтами +35° и —35° видна вся ширина колец. Однако здесь они видны всего лишь под углом 12° и меньше, поднимаясь над горизонтом наподобие радуги, а с экватора планеты они видны совсем с ребра — в виде яркой, но очень узкой полосы, проходящей через зенит и делящей все небо пополам. Если еще учесть, что одна сторона колец освещена, а другая темная, то мы придем к заключению, что на любом из полушарий Сатурна кольца можно видеть только в течение полугода. Речь идет, конечно, о сатурновом полугодии, равном нашим 15 годам. Большей частью в эпоху видимости колец на данном полушарии Сатурна они видны днем, от чего красота зрелища проигрывает, а ночью часть кольца покрыта тенью самой

планеты. Наконец, если вспомнить, что Сатурн вечно окружен облаками, сплошным покровом окутывающими его атмосферу, то мы придем к заключению, что практически, перенесясь на Сатурн, мы бы с него колец вообще никогда не видели. Итак, если хотите лучше всего рассмотреть метеоритные кольца Сатурна, то не переселяйтесь на Сатурн! Лучше всего их можно было бы рассматривать с какого-либо из спутников

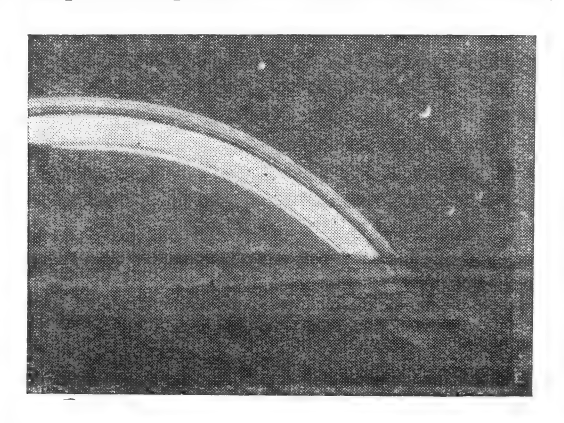


Рис. 63. Воображаемый вид колец Сатурна из верхних слоев его атмосферы.

этой планеты, но опять-таки под небольшим углом, почти с ребра.

Быть может, некогда один из таких спутников Сатурна, ближайший к нему и вознамерившийся было подойти еще ближе, был наказан за свою дерзость тем, что был обращен в метеоритное кольцо.

Французский математик Рош еще в 1850 г. доказал, что жидкий спутник какой-либо планеты, находясь к ней ближе некоторого предельного расстояния, должен быть разорван на части приливными силами. Для спутника, имеющего плотность, одинаковую с плотностью планеты, этот «предел Роша» составляет 2,44 радиуса планеты. Ближайший из спутников Сатурна, Мимас, отстоит от его центра на 3,11 радиуса планеты, а внешний край кольца —

на 2,30 радиуса Сатурна. Итак, кольцо Сатурна целиком находится внутри предела Роша, внутри зоны, запретной для спутников, желающих сохранить свою целость. Это подтверждает справедливость теории Роша и возможность образования кольца за счет разрушения одного из спутников, который либо начал было образовываться в этой зоне при рождении Солнечной системы, да так и не смог образоваться, либо же он попал в нее извне благодаря возмущениям. Заметим, однако, что для твердого сплошного спутника предел Роша будет гораздо меньше, чем для жидкого тела.

В 1966 г. было открыто самое широкое внешнее кольцо Сатурна, названное кольцом D. Его размер вдвое больше, чем система колец, известная ранее. Но это кольцо крайне разрежено. Открытый в 1966 г. спутник Янус и более далекий спутник Энцелад двигаются внутри кольца D, как в сопротивляющейся среде, Мимас же лишь пересекает кольцо D, потому что его орбита наклонена к плоскости кольца. Эти новые данные согласуются с последним нашим замечанием, касающимся предела Роша.

Щели в кольцах образовались вследствие возмущения движения метеоритных частиц притяжением спутников Сатурна. Там, где период обращения частиц соизмерим с периодом одного из внутренних спутников, возмущения особенно велики и делают орбиты частиц неустойчивыми. В тех местах, где периоды обращения частиц составляют $^1/_2$, $^1/_3$ или $^1/_4$ от периода обращения близких спутников, эти частицы задерживаются недолго, и эти области почти не заняты их орбитами, а значит, и самими частицами,— там образуются пустоты, щели. Такие же прогалины наблюдаются и в орбитах астероидов, в тех местах, где их периоды обращения были бы соизмеримы с периодом обращения Юпитера.

Щель Кассини в кольцах соответствует периодам обращения, равным $^1/_2$ периода обращения Мимаса, $^1/_3$ и $^1/_4$ периодов обращения двух следующих спутников Сатурна. Аналогичные соотношения встречаются и для других щелей, наблюдаемых в кольцах.

## НА ОКРАИНАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

На окраинах Солнечной системы «циркулируют» Уран и Нептун, принадлежащие к группе планет-гигантов, хотя они значительно меньше Сатурна, а также Плутон. Плутон в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля, и наше светило видно с Плутона как ослепительно яркая звезда. Диск Солнца человеческим глазом без телескопа был бы оттуда неразличим — так он мал.

Об Уране и Нептуне можно сказать немного. Их атмосферы обширны, как у Юпитера и Сатурна, а поверхность планет целиком скрыта облаками. Облака образуют трудноразличимые полосы, подобные юпитеровым. В водородно-гелиевых атмосферах Урана и Нептуна вследствие низкой температуры аммиак частично вымерз. На Уране измеренная ранее температура оказалась ниже — 180° С. Наблюдения его радиоизлучения привели к температуре в среднем —100° С на длине волны 1,9 *см* и —170° на длине волны 11 *см*. Все эти данные относятся, по-видимому, к разным слоям урановой атмосферы. Для Нептуна температура оказалась градусов на 15—20 ниже. За 20 лет, прошедших после первого определения теплового излучения Венеры радиометодами, мощность радиотелескопов возросла более чем в 10 000 раз. Это позволило измерить радиоизлучение каждой из планет, кроме Плутона, для исследования которого возможности современной аппаратуры пока недостаточны. В сочетании с измерениями инфракрасного теплового излучения планет радиоастрономические данные принесли важную информацию. Найдено, что температура поверхности облачного слоя Урана определяется только падающим на него солнечным излучением, а Нептун, подобно Юпитеру и Сатурну, излучает приблизительно в $1^1/_2$ раза больше энергии, чем поглощает. Следовательно, там действуют внутренние источники энергии колоссальной мощности. Период вращения Урана составляет 10 час. 50 мин., а период Нептуна установлен менее точно. Из спектральных наблюдений он получился равным 16 часам

с возможной ошибкой порядка одного часа, а из периодических колебаний его блеска 12 час. 43 мин. Первое число заслуживает большего доверия. Интересно, что Нептун вращается в прямом направлении, а Уран в обратном, не так, как остальные планеты. При этом ось Урана наклонена к плоскости его орбиты на 98°, и он вращается как бы «лежа на боку». Это обусловливает очень резкие смены времен года, который на этой далекой и холодной планете равен 84 земным годам. Но смены времен года в этом вечном холоде никого не беспокоят, ибо вся троица окраинных планет не может быть носительницей жизни.

Плутон невелик, слабо освещается Солнцем и так далек, что как светлая точка около 14—15-й звездной величины виден только в сильнейшие телескопы. Даже его размер и масса известны лишь крайне приблизительно. В 5-метровый телескоп из прямого измерения на грани возможного диаметр Плутона был оценен в 5800 *км*. Если внести некоторые поправки, то получим 4800 *км*. В 1965 г. из наблюдения прохождения Плутона около звезды, которую он не закрыл при этом, надежно установлено, что его диаметр менее 6,8 тыс. *км* и составляет скорее всего около 5500 *км*, т. е. в $1^1/_2$ раза меньше земного. Менее надежно оценивается масса Плутона, так как он не имеет спутников, по движению которых масса планет определяется точно. Возмущения, производимые им в движении Урана и Нептуна, так слабы, что по этим данным масса его определяется крайне неточно. Ее значение, вероятно, менее одной десятой массы Земли.

Из наблюдений периодических изменений яркости Плутона период его вращения вокруг оси установлен в 6 суток 9 часов 17 минут, но период изменения блеска не всегда правильно отражает период вращения планеты. Они совпадают, если на планете есть очень большое и не перемещающееся пятно (особо светлое или особо темное). Понятно, что о физической природе Плутона не известно ровно ничего, но можно ожидать, что он окажется в этом отношении сходным с Меркурием. Впрочем, при холоде, царящем на нем, он может сохранять атмосферу.

Пожалуй, за исключением Марса, далекие земли чрезвычайно мало похожи на нашу планету! Все это разнообразие планет и их атмосфер еще раз показывает бесконечное многообразие природы. Совершенно неверно думать, что все в ней устроены по одному и тому же образцу. Законы природы везде одни и те же, но условия, в которых они проявляются, различны.

Возможно, что дальше Плутона есть еще одна или несколько планет, но поиски их среди великого множества звезд слабее 15-й величины слишком кропотливы и успех поисков не оправдает затраченного времени, которое полезнее употребить на более актуальные наблюдения и измерения... Быть может, вы читали о том, что Нептун был открыт «на кончике пера», путем вычислений, какая интересная история связана с открытием Плутона и что думают о планетах за Плутоном?

## ЕСТЬ ЛИ ДРУГИЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ?

Есть ли планетные системы около других солнц и где они? Увидеть в телескоп такую планету, как Земля, даже около ближайшей к нам звезды ($\alpha$ Центавра) невозможно. Если предполагаемая планета находится от $\alpha$ Центавра на таком же линейном расстоянии, как Земля от Солнца, то при своем орбитальном движении она будет хотя бы по временам удаляться от звезды на $0'',75$. В большой телескоп близкие по яркости звезды, разделенные таким расстоянием, в исключительно хорошие ночи можно увидеть отдельно. Но... не только Земля, но даже такая гигантская планета, как Юпитер, светя отраженным светом, будет «выглядеть» (теоретически!) как столь слабая звездочка, что практически ее не будет видно даже в наибольший телескоп. Не так-то уж наша родина — Земля — заметна издали!

В главе «Звезды — далекие солнца» мы увидим, что одиночные звезды перемещаются в пространстве прямолинейно, а в проекции на небосвод их путь выглядит как дуга большого круга. Там же мы узнаем,

что часто звезды объединены в пары. Звезды такой пары обращаются вокруг общего центра тяжести, который и движется в пространстве прямолинейно, а каждая из звезд-сестер описывает на небосводе волнистую линию. Иногда одна из звезд пары невидима. Тогда, судя по видимому пути другой звезды, мы можем сказать, что она не одинока. Компоненты двойных звезд, как правило, имеют сравнимые массы и это можно установить по форме описываемой ими линии. У некоторых близких к нам звезд обнаружены волноподобные перемещения. Они указывают на то, что у каждой из них есть невидимый спутник; масса его превосходит массу нашего Юпитера всего в несколько раз. Такова, например, летящая звезда Барнарда. Ее спутник имеет столь малую массу, что не может даже быть самосветящимся. В нем не может быть запаса энергии, достаточного для продолжительного свечения. Это один из примеров того, что часто называют «астрономией невидимого», впрочем, эти случаи требуют еще подтверждения, например, в 1973 г. волнообразные перемещения звезды Барнарда не подтвердились.

Проф. Б. В. Кукаркин указал, что в действительности наблюдаемый период колебания таких звезд может быть обусловлен не одной массивной планетой, а несколькими менее массивными, с разными периодами обращения, т. е. целой планетной системой. Их совокупное действие может вызывать такой же эффект, как притяжение одной массивной планетой.

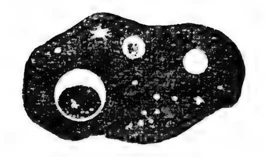
Таким образом, очень вероятно, что хотя мы их и не видим, но уже обнаружили несколько планетных систем.

Окончательно еще не известно, каков процесс происхождения планетных систем. Быть может, и не все звезды обзаводятся планетами. Было бы, однако, совершенно невероятно, чтобы при существовании великого множества звезд, абсолютно сходных с Солнцем и похожих на него, ни одна из них не имела планет. Скорее можно думать, что планетами обладает большинство звезд.

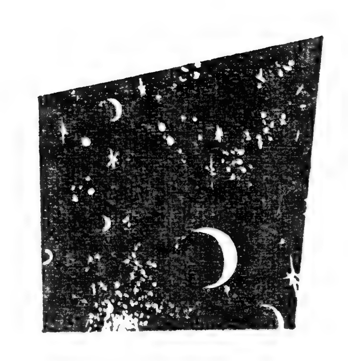
Прогрессивные умы человечества всегда высказывали мысль, что пристанищем для жизни во всей Вселенной не может быть лишь один наш земной шар. За учение о множественности обитаемых миров и за другие «ереси» был сожжен на костре Джордано Бруно. Мракобесие католической церкви не мирилось с такой идеей. Вспомним и то, сколько труда пришлось приложить М. В. Ломоносову, чтобы добиться напечатания второго издания книги «Разговоры о множественности обитаемых миров», запрещенной Синодом православной церкви.

На основе философии диалектического материализма мы можем утверждать, что в бесконечной Вселенной есть бесконечное же множество обитаемых миров и что жизнь неизбежно должна возникать везде, где для нее складываются необходимые и благоприятные условия.

На примере Солнечной системы видно (это подтверждается также и теоретически), что, конечно, далеко не все планеты пригодны для возникновения и развития на них жизни, тем более разумной. К этому вопросу мы еще вернемся в очерке «Возможна ли связь с цивилизациями других планет».



## ГЛАВА 2



# ПЛАНЕТЫ-КРОШКИ

### ОХОТНИКИ ЗА ПЛАНЕТАМИ

Природа не терпит пустоты — утверждали многие в древности, хотя и затруднялись как следует объяснить, «с чего это они взяли». Этим утверждением «объясняли», почему жидкость поднимается в барометре вверх внутри высокой стеклянной трубки, из которой выкачан воздух. Вероятно, сходное с этим представление о нетерпимости пустоты заставляло ученых в конце XVIII века разыскивать планету в той «бреши», которая как бы зияла между орбитами Марса и Юпитера.

Даниэль Тициус в 1772 г. выпустил в Бонне книгу «Созерцание природы», в которой обратил внимание на правильное возрастание расстояний планет от Солнца и на пробел между Марсом и Юпитером. Мысль эта была подхвачена Боде, который заявил, что вакантное место в Солнечной системе занято планетой, которую он, можно сказать, просто придумал. (Надо отметить, что расстояния открытых впоследствии планет Нептун и Плутон не улеглись в закономерность, подмеченную Тициусом, так что в действительности эта закономерность сложнее. Эта закономерность производила большое впечатление на современников и в наше время может быть объяснена теоретически.) Такие предположения тогда еще не имели, конечно, ничего общего с научным предвидением, основанным на законах природы. Это было нечто более близкое к мистическим воззрениям пифагорейцев на «священные» числа и фигуры.

Астроном Цах так размечтался о существовании планеты между Марсом и Юпитером, что пятнадцать лет пытался организовать ее поиски, хотя, как мы видим, мысль о существовании планеты в этом месте была основана на непонятной закономерности в некоторых числах. В сентябре 1800 г. Цаху удалось сговориться с пятью астрономами, собравшимися на своего рода конференцию. Они образовали, как шутил Цах, «отряд небесной полиции», имевшей целью «выследить и поймать беглого подданного Солнца». Для этих поисков небо вдоль зодиакальных созвездий, по которым движутся все планеты, было разделено на участки, и каждому наблюдателю был выделен свой участок неба, а один, оставшийся свободным, решили предложить итальянскому астроному Пиацци. Едва об этом они собрались его известить и едва лишь они начали свою кропотливую и обещавшую быть долгой, если не безнадежной, работу, как получили известие, что беглянка уже поймана и не в результате долгих поисков, а совершенно случайно.

В первую ночь XIX столетия (1 января 1801 г.) Пиацци в Палермо трудолюбиво производил свои систематические измерения координат звезд для составления каталога звездных положений. В следующую ночь, производя для проверки повторные наблюдения, Пиацци заметил, что одна из наблюдавшихся им слабых звездочек (7-й величины) имеет не те координаты, которые он отметил для нее накануне. На третью ночь обнаружилось, что тут нет никакой ошибки, а что эта звездочка медленно движется. Пиацци решил, что он открыл новую комету. Правда, кометы, как знал Пиацци,— это «косматые светила», что и означает само их название на греческом языке; это — туманного вида светила, иногда имеющие туманный же хвост. «Может быть, это необычайная комета,— решил Пиацци,— каких еще не бывало».

Шесть недель тщательно следил он за своим светилом, пока болезнь не свалила его с ног и не прервала наблюдений, из которых сам Пиацци не мог вывести орбиту открытого им светила в пространстве.

После болезни Пиацци снова стал просиживать ночами у телескопа, но он уже не мог больше найти свое светило. Непрерывное смещение увело его далеко от того места, где он его видел в последний раз, и оно затерялось среди других таких же слабых звездочек, которые в то время не были еще занесены на карты звездного неба.

Так и не завершив до конца свое открытие, Пиацци вынужден был разослать письма другим астрономам с описанием своих наблюдений и с просьбой поискать найденное и утерянное им светило.

Пока почтовые кареты доставили эти письма в другие страны, искать новое светило стало совсем безнадежно. Его не нашли, а полученных уже наблюдений было недостаточно для того, чтобы по ним, применяя существовавшие тогда методы, можно было вычислить орбиту светила и предсказать его видимое движение по небу в будущем. На сколько лет или десятилетий задержался бы, таким образом, новый успех в астрономии — угадать трудно, но тут одно открытие помогло другому. Теория помогла практике. Наблюдателям помог математик Гаусс.

Знаменитому ученому было тогда только 25 лет, и, имея много планов, надежд и интересов, он еще не знал, чему он посвятит себя окончательно. Свои досуги он посвящал высшей математике и астрономии.

Еще до описываемых событий он нашел общий способ вычислять орбиты светил всего лишь по трем наблюденным положениям их на небе. Применения новому способу, найденному Гауссом, еще не было, и открытие нового светила представило к этому первый и прекрасный случай.

Гаусс тотчас же принялся за вычисления и в ноябре опубликовал уже элементы орбиты планеты, а также и ее положения на небе в будущем,— где планета должна была быть видна с Земли.

Наступал уже сентябрь 1801 г., когда светило Пиацци, успевшее скрыться в солнечных лучах, снова должно было вынырнуть из них и сделаться доступным для наблюдения..., если бы удалось его найти. Увы, нетерпение наблюдателей, горевших же-

ланием поскорее использовать помощь Гаусса, подверглось дальнейшим испытаниям. Дождь, снег, туман и облака как бы сговорились мешать поискам потерянного светила, и лишь в последнюю ночь того же 1801 г. небо расчистилось. Не смущаясь наступающей веселой встречей Нового года и основательным морозом, Цах бросился на поиски «по горячему следу», и на следующую ночь, в годовщину открытия Пиацци, беглянка была обнаружена. Ее перемещение среди звезд за двое суток выдало ее «с поличным»; в эту следующую ночь ее обнаружил также и Ольберс.

Вычисления Гаусса показали, что Пиацци открыл не комету, а планету, обращающуюся около Солнца как раз между Марсом и Юпитером. Кому, как не Пиацци, принадлежало первое слово в вопросе о том, как назвать новооткрытого члена семьи планет? И Пиацци пожелал назвать ее Церерой, богиней-покровительницей острова Сицилии во времена римлян. Этим Пиацци отдал дань местности, в которой он успешно вел свою научную работу, и вместе с тем «выдержал стиль», так как взял название планеты из того же сонма богов римской мифологии, из которого в древности были почерпнуты имена других планет.

История с названием Цереры является одним из примеров возможного ответа на вопрос, который иногда задавали наивные люди. «Мы допускаем, что можно измерить и узнать размеры, расстояние и температуру небесных тел, но как, скажите, как узнали названия небесных светил?» Их узнали так же, как родители узнают имена своих детей...

Открытие восьмой по счету планеты потянуло за собой ряд других открытий, и в наши дни, как мы увидим, приходится чуть ли не жалеть, что этих открытий так много...

## ВЕРЕНИЦА ОТКРЫТИЙ

Церера была предметом постоянного внимания, и, наблюдая ее путь, астрономы хорошо изучили расположение слабых звезд в окрестностях этого пути. 28 марта 1802 г., недалеко от места, где незадолго

перед тем среди звезд виднелась Церера, Ольберс заметил новую звездочку и уже через два часа убедился в ее движении относительно ее соседок. Дело пахло открытием еще одной планеты, и Гаусс снова показал, что это действительно так и есть. Особенно удивительно то, что орбита второй, слабо светящейся планеты оказалась весьма близкой к орбите Цереры. Вместо одной «недостающей» планеты между Марсом и Юпитером их оказалось две: «не было ни гроша, да вдруг алтын». Вторую планету назвали Палладой (богиня войны, победы, мудрости и науки у греков).

В прежние времена было мало обсерваторий и мало людей, занятых исключительно астрономическими исследованиями. Скудно оплачивалась их работа. Примерно половина выдающихся ученых XVII и XVIII веков занималась наукой в часы досуга, выкраиваемого от других занятий, кое-как обеспечивавших им жизнь. Еще большее число ученых при капиталистическом строе в начале своей деятельности занималось посторонними делами, прежде чем им удалось целиком посвятить себя науке.

Так, например, известный астроном Бессель начал свою карьеру конторщиком, Лассель, открывший спутник Нептуна, был пивоваром; из исследователей комет Свифт был жестянщиком, Темпель — литографом; один исследователь планет Шретер был судейским чиновником, Гершель начал свою деятельность музыкантом, Швабе, открывший периодичность солнечных пятен, был аптекарем, Холл, открывший спутники Марса, вышел из плотников, исследователь малых планет Ольберс был врач-практик.

Урывая время от сна, Ольберс наблюдал кометы и стал авторитетом по части изучения их орбит. Еще в 1779 г., дежуря у кровати больного товарища, такого же, как и он, студента-медика, он додумался до важного упрощения в вычислении этих орбит. Ученым счастливые мысли приходят в голову иногда неожиданно, даже в самой неподходящей обстановке — в трамвае, в антракте концерта и даже в магазине. Поглощенный своим делом, ученый постоянно ста-

рается урвать каждую свободную минуту для размышлений, и к своей счастливой мысли на дежурстве Ольберс пришел, конечно, не случайно, а в итоге длительных дум в предшествующие месяцы. На вопрос: как это вам пришло в голову? — в большинстве случаев самым правильным и кратким будет ответ: я об этом думал постоянно.

Новый способ облегчил труд вычислителей кометных орбит и ускорил вычисления.

Сочетание строгого мышления с известным воображением бывает полезно, и воображение толкает исследователя на новые открытия. Так, Ольберс высказал смелую мысль, что то место Солнечной системы, которое некоторыми предоставлялось для одной лишь планеты, действительно когда-то *было* занято единственной планетой. Две из них, обнаруженные тут,— по мысли Ольберса,— это ее осколки, образованные некогда какой-то катастрофой. Этих осколков, наверно, даже не два, а много, и есть смысл поискать остальные.

Если некогда планета, помещавшаяся между Марсом и Юпитером, разорвалась на куски, то через ту точку пространства, где произошел взрыв, должны пройти орбиты всех полученных осколков. Это — известный закон механики, который должен быть справедлив и тут. Раз так, то чем шарить по большой области неба в поисках новых планет, проще подстерегать их, когда они будут проходить через те точки, где пересеклись орбиты Цереры и Паллады. Вот был практический вывод из описанного выше предположения, которое можно назвать «рабочей гипотезой».

«Рабочая гипотеза» — это предположение, которое стремятся выдвинуть временно для объяснения новооткрытого факта, хотя бы сам факт не был еще изучен настолько подробно, чтобы выдвигаемое предположение было уже достаточно обосновано. Рабочая гипотеза, не претендуя на строгость, дает на первое время какое-то объяснение фактам и указывает исследователям пути в их поисках. Дальнейшие исследования развиваются тогда уже не вслепую, а в определенном направлении, и прежде всего с целью

проверить правильность сделанной гипотезы. Ведь из гипотезы следуют некоторые выводы, например, что должны быть еще такие-то и такие-то явления. Существуют они в действительности или нет,— вот на что тотчас же переключается внимание. Если гипотеза не оправдывается, то на смену ей выдвигается новая и уже более совершенная, потому что проверка первой привела нас к более глубокому пониманию открытых фактов и добавила новые данные.

Три года Ольберс сам терпеливо подстерегал новые планеты в созвездии Девы, где была видна с Земли точка пересечения орбит Цереры и Паллады. Его труд был вознагражден в 1807 г. открытием Весты. Но еще в 1804 г. Гардинг открыл планетку, названную Юноной, в созвездии Кита, где находилась вторая точка пересечения орбит.

Так, казалось, гипотеза подтвердилась, и орбиты четырех найденных осколков пересеклись почти в одних и тех же точках. Однако, если вдуматься, то гипотеза Ольберса была бы справедлива только в случае недавней катастрофы с пропавшей большой планетой. В самом деле, если это событие произошло давно, то притяжения со стороны больших планет должны были так сильно и разнообразно изменить орбиты осколков, что они никак не могли бы до сих пор продолжать пересекаться в одних и тех же точках. Открытые впоследствии планеты (все там же, между Юпитером и Марсом) совсем не проходят через места, где пересеклись орбиты первых четырех открытых планет. Первоначальное впечатление о правильности предположения Ольберса оказалось основанным на случайном совпадении... Все это выяснилось, впрочем, уже значительно позже, чем Ольберс нашел четвертую планету.

Когда уже все, принимавшие участие в открытии этих планет, скончались, пятая планета все еще не попадалась наблюдателям. Только в 1845 г., почти через 40 лет, она была открыта. Открыл ее отставной почтовый чиновник Генке, терпению которого поистине можно изумляться. 15 долгих лет, из вечера в вечер, он разыскивал попутчиков Цереры и ее това-

рок, и каждый новый вечер, приносивший разочарование, не ослаблял его энтузиазма. Через два года после первого успеха он открыл еще планету, и вскоре затем открытия подобных планет стали производиться непрерывно.

Все планеты, обнаруженные между орбитами Марса и Юпитера, получили общее название малых планет или астероидов, что в переводе с греческого означает «звездоподобные». Действительно, даже в самые сильные телескопы эти планеты выглядят как звездочки, так они малы. Малость в астрономии — понятие, конечно, относительное, но в сравнении с остальными планетами астероиды действительно малы. Самый большой из них — Церера — имеет около 770 *км* в поперечнике и по объему во столько раз меньше Луны, во сколько раз Луна меньше Земли. У Паллады диаметр составляет только 490 *км*, Юноны — 190 *км* и Весты — 380 *км*. Только у них, и то с помощью величайших в мире рефракторов, можно заметить крошечный диск. Поперечники этих планет можно измерить, но никаких подробностей на них рассмотреть нельзя. Поперечники остальных астероидов гораздо меньше, их оценивают по блеску этих тел. При одной и той же отражательной способности поверхности и при одном и том же расстоянии от Земли и от Солнца видимый блеск планеты пропорционален квадрату ее диаметра. Предполагая, что поверхность астероидов отражает около 15% падающего на нее света, подобно другим небесным телам, также лишенным атмосфер (как Луна), можно

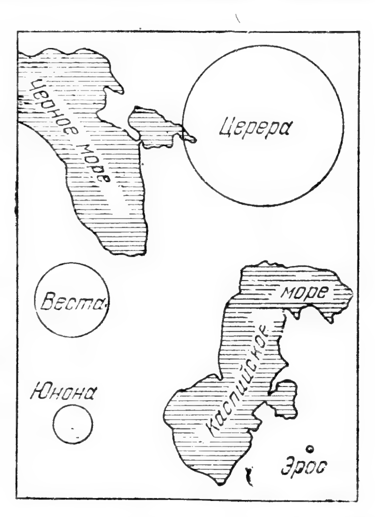



Рис. 64. Размеры некоторых астероидов по сравнению с Черным и Каспийским морями.

приблизительно оценить размер этих планет-крошек. Самые малые из известных теперь астероидов имеют поперечник порядка 1 *км* и вполне могли бы поместиться на территории наших парков культуры и отдыха. Изменения их блеска позволяют думать, что они не круглой формы, а похожи на неправильные обломки, разные стороны которых несколько по-разному отражают свет. Вращение их вокруг оси (отчего к нам поворачиваются то более, то менее яркие их стороны, имеющие к тому же несколько различные размеры поверхности) и обусловливает, по-видимому, наблюдаемые быстрые колебания их блеска.

Поскольку у четырех наибольших астероидов диаметры измерены непосредственно, можно было определить их отражательную способность. У трех из них она составляет от 10 до 22 %, т. е. действительно близка к отражательной способности поверхности Луны, Меркурия и земных пород. От Весты же отражается 48 % солнечного света, что встречается у тел, которые можно назвать белыми. Она отражает свет почти как Венера, окутанная светлыми облаками.

Отражательная способность, размеры, а также расстояние от Солнца (меняющееся обычно не очень сильно) и расстояние от Земли (меняющееся в больших пределах) определяют видимый блеск астероидов. В противостоянии, когда они ближе всего к Земле, самой яркой оказывается Веста, находящаяся тогда на пределе видимости невооруженным глазом. Остальные, самые яркие из астероидов, видны лишь в сильный бинокль, как звезды 7-й величины и слабее. Большинство астероидов видимо лишь в сильные телескопы и на фотографиях, снятых большими астрографами.

## ЧЕМ ДАЛЬШЕ В ЛЕС, ТЕМ БОЛЬШЕ ДРОВ

Чем меньше астероиды по размерам и чем меньше их блеск, тем больше оказывается их число, и потому с течением времени открывают астероиды все менее и менее яркие. Например, наибольшее число открытых в 1930 г. астероидов падает на 14-ю звездную величи-

ну, а в 1938 г. оно приблизилось уже к 15-й звездной величине.

Фотография — теперь единственный способ, применяемый для ловли малых планет, и уже в конце прошлого столетия, когда ее впервые применили, она сразу показала свое преимущество перед визуальными поисками в телескоп, какие проводили в прошлом веке.

Чтобы отличить слабый астероид от звезд, надо убедиться в его движении среди звезд от ночи к ночи. Если ближайшие ночи пасмурны, заподозренная планетка может быть утеряна.

На фотографии, когда астрограф перемещается за звездами, последние выходят в виде точек, а планета уже за час экспозиции успевает сместиться настолько, что получается в виде короткой черточки и этим сразу выдает себя.

Если астероид слабо светится, то его след не отпечатывается на пластинке, и, чтобы поймать самые слабые астероиды, придумали такой способ. Часовой механизм нарочно расстраивается так, чтобы астрограф двигался примерно в направлении ожидаемого смещения планетки среди звезд и с той же скоростью. При этом фотографии звезд смазываются, выходя в виде коротких черточек, а свет слабого астероида падает все время почти на одно и то же место пластинки и потому оказывает на нее заметное действие. Фотография астероида получается почти что в виде точки.

Обнаружив на снимке астероид, надо убедиться в том, что это новый, и для этого надо определить точно его видимое положение среди звезд, его координаты на небесной сфере, а затем сравнить их с эфемеридами, т. е. с вычисленными наперед видимыми положениями астероидов, орбиты которых уже известны.

Теперь, убедившись, что вы открыли новый член Солнечной системы, получите еще не менее двух определений его положения на небе, и по возможности не в смежные дни, иначе нельзя будет достаточно точно вычислить его орбиту. Сколько раз пасмурная по-

года мешала наблюдателю проследить за астероидом, и он терялся, так как нужных наблюдений его положения получить не удавалось. Открытие, бывшее, казалось, в руках, ускользало между пальцами, как в свое время чуть не ускользнула Церера!

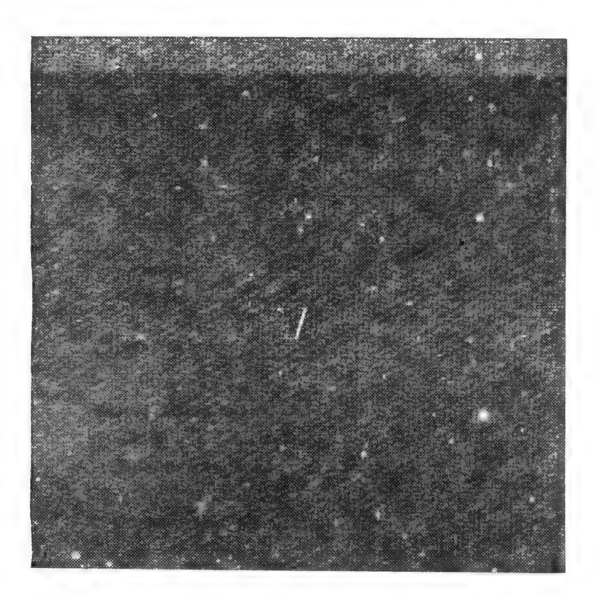


Рис. 65. На фотографии звездного неба астероид благодаря своему движению выходит в виде черточки.

До тех пор, пока орбита планеты по достаточному числу наблюдений не определена уверенно, планете не присваивают ни очередного номера, ни имени и не считают ее достойной стать членом солнечной семьи.

Много таких планет было найдено и утеряно, снова найдено кем-либо другим и снова утеряно, и потому не каждая открытая планета сразу получает имя.

Очень много малых планет (более сотни) было открыто на советской обсерватории в Симеизе Г. Н. Неуйминым, С. И. Белявским и другими. В Симеизе для ловли малых планет применяли две одинаковые фо-

токамеры, фотографировавшие одновременно одну и ту же область неба и тем исключавшие возможность какой-нибудь ошибки.

Вычислив орбиту и получив признание своей новой планеты, вы можете получить законное удовольствие присвоить ей любое имя. Как ни велик запас богов в арсенале греческо-римской мифологии, его не хватило для наименования астероидов. Сохранить стиль мифологических названий не удалось, и тут уже стали называть астероиды, кто во что горазд, лишь бы имя носило женское окончание. За рубежом астероиды называли в честь жен, дочерей, а быть может, даже и тещ.

Лишь для наиболее особенных астероидов, в виде исключения и для выделения их из среды остальных, были приняты названия с мужским окончанием. Так и среди небесных светил было отражено древнее и уничтоженное в Советском Союзе неравноправие мужского и женского.

В честь городов, где были открыты планеты, некоторые из них получили такие названия, как Москва (№ 787) и Симеиза (№ 748). Есть планеты Владилена (№ 852) в честь Владимира Ильича Ленина, Морозовия (№ 1210) в честь Николая Морозова (Шлиссельбуржского) и другие. В честь ученых были названы планеты Амундсения, Пиацция, Ольберсия, Бредихина и другие.

Табличка на следующей странице рисует хронологическую картину открытия астероидов и подводит итог этих открытий, далеко еще не законченных. В 70-х гг. число занумерованных астероидов приближается к 2000. В этой таблице роль фотографии, выступившей на сцену в конце XIX столетия и повысившей число ежегодных открытий, очень заметна.

Для множества незанумерованных астероидов известны приближенные орбиты.

Размер и масса астероидов в той или иной мере пропорциональны их блеску (приведенному к условиям одинакового расстояния от Земли и Солнца), поэтому распределение астероидов по их, как говорят, «абсолютному блеску» (т. е. блеску, который имел бы

**Открытие астероидов**

| Годы | Открыто | Занумеровано | Всего занумеровано |
|---|---|---|---|
| 1800—1809 | 4 | 4 | 4 |
| 1810—1819 | 0 | 0 | 4 |
| 1820—1829 | 0 | 0 | 4 |
| 1830—1839 | 0 | 0 | 4 |
| 1840—1849 | 6 | 6 | 10 |
| 1850—1859 | 47 | 47 | 57 |
| 1860—1869 | 53 | 52 | 109 |
| 1870—1879 | 105 | 102 | 211 |
| 1880—1889 | 80 | 76 | 287 |
| 1890—1899 | 264 | 165 | 452 |
| 1900—1909 | 776 | 213 | 665 |
| 1910—1919 | 788 | 249 | 914 |
| 1920—1929 | 1262 | 202 | 1116 |
| 1930—1939 | 2799 | 373 | 1489 |
| к 1962 | — | — | 1650 |

астероид на расстоянии одной астрономической единицы от Земли и от Солнца) характеризует распределение их и по массе (если принять, что их отражательная способность одинакова).

Можно оценить, изучая статистику открытий, какая доля астероидов, находящихся на данном расстоянии от Солнца, еще случайно не открыта. В общем, мы приходим к тому заключению, что астероидов ярче 9-й абсолютной звездной величины всего имеется 530. Число астероидов более слабых увеличивается примерно в 2,7 раза при ослаблении их яркости в $2\,{}^1/_2$ раза. С помощью наибольшего в мире телескопа, если бы его можно было целиком занять ловлей малых планет, можно было бы выловить их 30—40 тысяч. Число еще более маленьких и слабых астероидов, может быть, доходит до сотен тысяч, а астероидов до 1 *км* диаметром, по подсчету С. В. Орлова, должно быть около 250 миллионов, но они очень мало добавляют к их общей массе, которая по всем данным не превосходит даже массы Луны.

Все это чудовищно большое число планеток движется по всевозможным орбитам между Юпитером и

Марсом, и пути их переплелись настолько, что если бы мы сделали проволочную модель их орбит в виде колец, то ни одного кольца нельзя было бы вынуть из модели, не потянув за собой все остальные.

Быстрый рост числа вновь открываемых астероидов приводит в ужас вычислителей — тех скромных неутомимых тружеников, которые взяли на себя задачу вычислять орбиты и эфемериды «карманных планет». Главная забота и труд состоят в вычислении возмущений в движении астероидов. Они, особенно некоторые, как на зло, близки к Юпитеру, который своей огромной массой производит наибольшие возмущения. Благодаря ему орбиты многих малых планет изменяются так быстро и сильно, что без постоянного их исправления планеты рискуют снова затеряться среди бесчисленных слабых звезд. Не хватает уже квалифицированных рабочих рук, а если хотите — и глаз, для постоянного их наблюдения и постоянного учета возмущений. Малые планеты специально обслуживаются двумя-тремя большими астрономическими институтами, среди которых выделяется ленинградский Институт теоретической астрономии Академии наук СССР. Стали было поговаривать о том, чтобы установить приблизительно орбиты астероидов, а затем следить лишь за наиболее интересными из них, за всеми же — «не угонишься». Но тут, к счастью, изобрели быстродействующие электронные счетные машины и вычисления очень ускорились и облегчились. Институт теоретической астрономии в Ленинграде разработал особые способы для быстрого и точного учета возмущений. Опираясь на его расчеты, наблюдения малых планет ведут в ряде стран.

Было бы, однако, неверно думать, что открытие астероидов не приносит нам ничего, кроме бесполезных забот. Существование целого кольца астероидов в Солнечной системе уже само по себе очень интересно и существенно для выяснения прошлого и будущего планет. Проблема астероидов, оказывается, связана и с загадкой происхождения комет и тех камней (метеоритов), которые из межпланетного пространства

падают на Землю. Орбиты малых планет и их возмущения поставили перед астрономами-теоретиками ряд новых и трудных задач, из которых многие были блестяще разрешены и получили применение и в других областях науки, в частности, в физике при изучении движения электронов в атоме.

Наблюденные возмущения в движении многих астероидов помогли определить массы больших планет. Наконец, наблюдатели были очень заинтересованы новыми открытиями и для ловли планет старательно совершенствовали свои инструменты и методы наблюдения. В частности, необходимость искать слабые планеты среди слабых же звезд ускорила составление точных звездных карт, применения которых бесчисленны. Малые планеты позволили с наибольшей точностью установить расстояние от Земли до Солнца. Учтем это и без усмешки над усилиями астрономов, труды которых напоминают насмешникам софизм о всемогуществе творца *), ограничимся знакомством с наиболее удивительными из семьи этих удивительных планет.

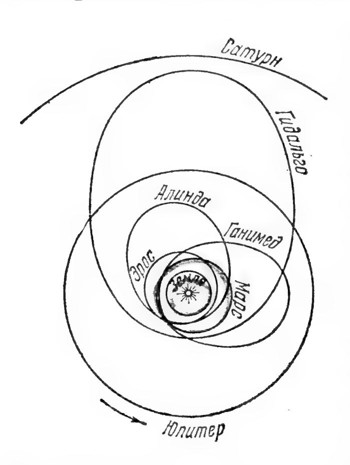



Рис. 66. Орбита астероида Гидальго очень вытянута и не отличается от орбит короткопериодических комет.

Орбиты астероидов, носящихся преимущественно между орбитами Марса и Юпитера, часто отличаются от орбит больших планет сильными наклонами к эклиптике и большой вытянутостью (большим эксцентриситетом). У астероидов наклоны доходят до 43° (у Гидальго), а эксцентриситет — до 0,65 (у него же). Особенно много таких сильно наклоненных и крайне

*) Как известно, софизм о всемогуществе творца состоит в вопросе: может ли творец, если он всемогущ, создать такой камень, который бы он сам не мог сдвинуть?

вытянутых орбит открыто за последнее время преимущественно у мелких астероидов. В этом отношении орбиты астероидов представляют промежуточное звено между почти круговыми орбитами больших планет и очень вытянутыми орбитами комет. У Гидальго и у некоторых других астероидов орбита вытянута даже больше, чем у ряда комет.

### НАШИ БЛИЖАЙШИЕ СОСЕДИ

Особенный интерес представляют для нас астероиды, подходящие в перигелии к Солнцу ближе, чем Марс. Первым среди них, и долгое время единственным, был Эрос (или Эрот), открытый в 1898 г. Когда Земля и Эрос находятся одновременно в точках наибольшего сближения их орбит, их разделяет расстояние всего лишь в 22 миллиона *км*, т. е. в $2^1/_2$ раза меньшее минимального расстояния между Землей и Марсом. В это время положение Эроса среди звезд при наблюдении с противоположных точек Земли отличается почти на целую минуту дуги. Зная диаметр Земли и измерив эту разность в его видимом положении на небе, можно подсчитать точно расстояние Эроса от Земли в километрах. Но, поскольку его орбита известна, это расстояние можно выразить в единицах расстояния от Земли до Солнца, и сравнение этих двух величин даст нам тогда в километрах расстояние от Земли до Солнца. Расстояние от Земли до Солнца — это единица того масштаба, которым мы измеряем расстояния во Вселенной, и потому наблюдения Эроса для нас крайне ценны. В 1952 г. была закончена обработка множества наблюдений над последним приближением Эроса к Земле в 1931 г. (наибольшие сближения повторяются через несколько десятков лет). В результате расстояние от Земли до Солнца было найдено равным 149 504 000 *км* с возможной ошибкой 17 000 *км*, или 0,01%.

Правда, у нас есть много способов для уточнения величины нашей единицы масштаба, нашего астрономического «метра», но Эрос позволяет определить его с достаточно высокой точностью.

Поперечник Эроса составляет около 25 *км*, и при наибольшем сближении с Землей, находясь в перигелии, Эрос светит, как звезда 7,2 величины, так что виден даже в театральный бинокль. Удаляясь от Земли, он ослабевает. Обычно он виден, как светило 11—12-й звездной величины, а в афелии, находясь за орбитой Марса, он еще слабее.

По странной случайности Эрос привлекает исключительное внимание еще и в другом отношении — необычайными колебаниями блеска. В 1900 г. за 79 минут он на глазах пораженного этим наблюдателя, следившего за ним, ослабел в 4 раза (на 1,5 звездной величины). В течение последующих часов он опять разгорелся до прежнего блеска и затем снова стал угасать. Обнаружилось, что колебания блеска были периодичны, и за 5 час. 16 мин. он дважды достигал максимума и дважды опускался к минимуму. Едва успели к этому присмотреться, как колебания блеска стали затухать и через несколько месяцев совершенно исчезли.

В следующих своих сближениях с Землей Эрос то не менял блеска, то менял его едва заметно, то опять с прежней большой амплитудой. Тайна вокруг Эроса сгущалась и заставила ломать голову над его загадочным поведением.

В конце концов стали склоняться к мысли о том, что Эрос имеет форму огурца, сигары или высокого и узкого бочонка, к тому же покрытого темными и светлыми пятнами. Взаимное положение Земли и Эроса меняется. Когда ось вращения этого бочонка, перпендикулярная к его длине, направлена к нам, то мы видим его постоянно во всю длину, поэтому видимая, отражающая солнечный свет поверхность велика и постоянна. Тогда и блеск Эроса велик и постоянен. Когда мы находимся в плоскости экватора этой уродливой планетки, она поворачивается к нам то своим длинным боком, то «дном», и тогда блеск меняется сильнее всего. Чаще же всего мы находимся лишь вблизи его экваториальной плоскости, и тогда частично видим бока, частично «дно», и блеск меняется, но не так сильно.

В 1931 г., во время наибольшего его сближения с Землей, в большой телескоп разглядели диск Эроса и обнаружили изменения его формы — он казался то круглым, то продолговатым. Его толщину оценили

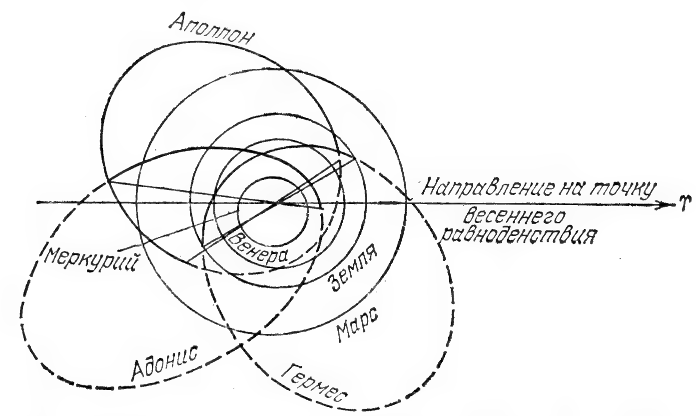



Рис. 67. Орбиты Аполлона, Адониса и Гермеса. На чертеже показаны линии пересечения плоскостей этих орбит с плоскостью эклиптики. Части орбит, лежащие под плоскостью эклиптики (т. е. под плоскостью орбиты Земли), показаны пунктиром.

в 6 *км* и длину в 22 *км*, а также нашли, что он вращается вокруг оси в ту же сторону, что и большие планеты. В 1938 г. Земля проходила через экваториальную плоскость Эроса, и ожидавшиеся большие колебания блеска действительно наблюдались проф. В. П. Цесевичем и другими наблюдателями.

Мы уже упоминали, что и другие астероиды несколько колеблются в блеске, обнаруживая свою обломочную форму и пятнистость поверхности, но среди них Эрос, по-видимому, наиболее отличается от шара.

Почти 35 лет прошло, прежде чем был открыт другой астероид, у которого, так же как и у Эроса, перигелий находится ближе к Солнцу, чем орбита Марса. Он и другие астероиды, подходя очень близко к Земле, вследствие перспективы движутся среди звезд особенно быстро, как иные кометы, и даже быстрее,

хотя в пространстве их скорость невелика. Поэтому из осторожности первое время после открытия такого рода светило называют «объектом», например «объект Иванова», если его открыл Иванов. Только после окончательного выяснения того, что открыта действительно малая планета, она получает настоящее

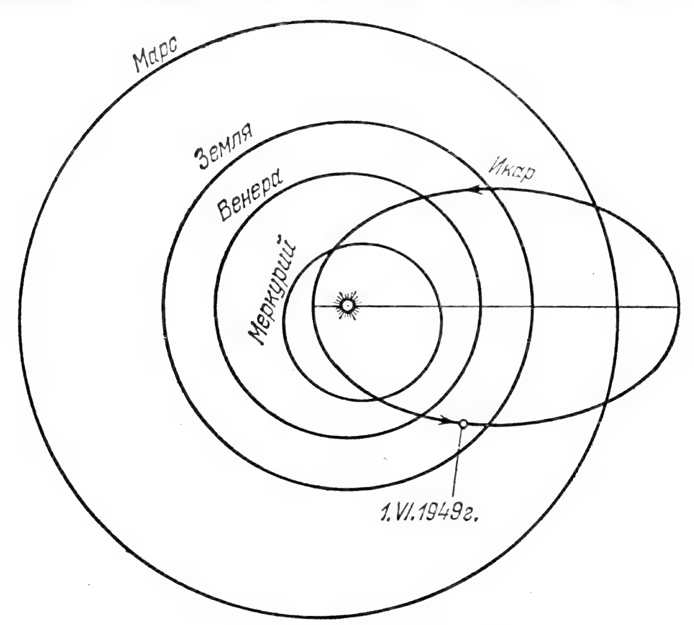



Рис. 68. Орбита Икара.

имя и перестает называться неопределенным и, я бы сказал, даже несколько «обидным» словом «объект».

Объект, открытый в 1932 г. и названный впоследствии Амором (или Амуром), оказался астероидом, пересекающим орбиту Марса и подходящим иногда к Земле на $^{1}/_{10}$ астрономической единицы. Его наблюдали затем еще в 1940 и в 1948 гг.

В том же 1932 г. открыли Аполлон, который подходит к Земле еще ближе, чем Эрос и Амор. Период его обращения меньше, чем у Марса, всего лишь 1,8 года,— первый случай такого рода, встреченный

в семье астероидов. Он пересекает орбиты Земли и Венеры, в то время как его афелий лежит за орбитой Марса! Открытый в дни наибольшего сближения с Землей, он прошел на расстоянии всего лишь в 3 миллиона *км*, т. е. в семь раз ближе, чем Эрос; быстро удалившись от Земли, этот планетный карлик перестал быть видимым.

Когда мы говорим о пересечении орбит астероидов с земной орбитой, то не надо понимать это буквально. Если бы это было так, то Земля и астероид могли бы, конечно, когда-нибудь столкнуться.

Во всех таких случаях орбиты астероидов наклонны к эклиптике и пересекают собственно плоскость эклиптики, но не самую орбиту Земли. Пересечение же самих орбит получается лишь в плане, т. е. на чертеже — в проекции на плоскость.

На чертеже орбита астероида иногда кажется пересекающейся с орбитой Земли, но на самом деле астероид находится тут гораздо выше или гораздо ниже плоскости чертежа, т. е. плоскости эклиптики. В мировом пространстве слишком много свободного места, и в нем столкнуться почти невозможно!..

Объект, открытый в 1936 г., также оказался астероидом и получил имя Адонис, а объект, открытый в 1937 г., числится теперь, как астероид Гермес. Перигелии обеих планеток лежат к Солнцу опять-таки ближе, чем орбита Венеры, и орбиты их также чрезвычайно вытянуты.

В 1949 г. была открыта планетка, названная Икаром за свое «предерзостное» приближение к Солнцу в перигелии. В афелии Икар входит в область, нормальную для астероидов, а в перигелии подходит к Солнцу ближе, чем Меркурий, оказываясь к Солнцу в пять раз ближе и нагреваясь им в 25 раз сильнее, чем Земля.

В таком пекле, каким является для Икара перигелий, его поверхность накаляется, может быть, до того, что даже начинает немного светиться собственным светом.

У древних греков был миф о том, как Икар захотел летать и изготовил себе крылья из перьев, скреп-

ленных воском. Но он неосторожно приблизился на своих крыльях к Солнцу и солнечный жар растопил воск на крыльях. Икар рухнул с высоты и погиб, наказанный за свою дерзость. Надеемся, что ничего подобного с астероидом Икаром не случится, по крайней мере, до того, как мы сможем лучше проследить за его движением. К этому есть все основания, так как эта планетка состоит, конечно, не из воска, а, вероятно, из каменных пород.

В июне 1968 г. предстояла новая встреча — следующее сближение Икара с Землей, которого астрономы ждали почти 20 лет. Но уже с 1965 г. среди несведущих людей стали распространяться слухи, что это сближение будто бы вызовет землетрясения и наводнения. Ничего подобного, конечно, не произошло, так как эта крошечная планетка около 15 июня 1968 г. прошла мимо Земли на расстоянии около 7 млн. *км*, т. е. раз в 20 большем, чем расстояние от нас до Луны. И если уж лунное притяжение производит лишь небольшие приливы в океанах, а кроме этого ничем себя на Земле не проявляет, то тем более ничего не смог причинить малютка Икар. Даже лунная приливная сила, и та, на расстоянии в 16 раз большем, стала бы в полторы тысячи раз меньше, т. е. совершенно неощутима. Ниже описываются случаи еще более близкого прохождения малых планет.

Встреча с Икаром принесла нам не вред, а пользу. Согласно теории относительности Эйнштейна перигелий орбит планет, близких к Солнцу, должен медленно перемещаться в пространстве, поворачиваться. Проверить это по движению Икара было бы точнее, чем по движению Меркурия. По той же теории и расстояние планеты от Солнца при ее обращении вокруг него должно изменяться немного иначе, чем по теории тяготения Ньютона. Это тоже можно проверить. Итак, ждем новых свиданий с Икаром!

Адонис пролетел мимо Земли на расстоянии $1^1/_2$ миллионов *км*, а Гермес побил рекорд, проскочив мимо нас на расстоянии 1 миллиона *км*, которое всего лишь втрое превосходит расстояние до Луны. В астрономическом смысле до него в это время было «ру-

кой подать». Если Гермес под влиянием возмущений (а они, ввиду его тесных сближений с Землей и с Марсом, могут быть велики) не изменит сильно своей орбиты, то иногда он сможет подходить к нам на расстояние всего лишь в 500 тыс. *км*, т. е. быть всего лишь в $1^1/_2$ раза дальше Луны!

Открыть планетку такого типа, как Гермес, очень трудно. Во-первых, она может быть видна лишь

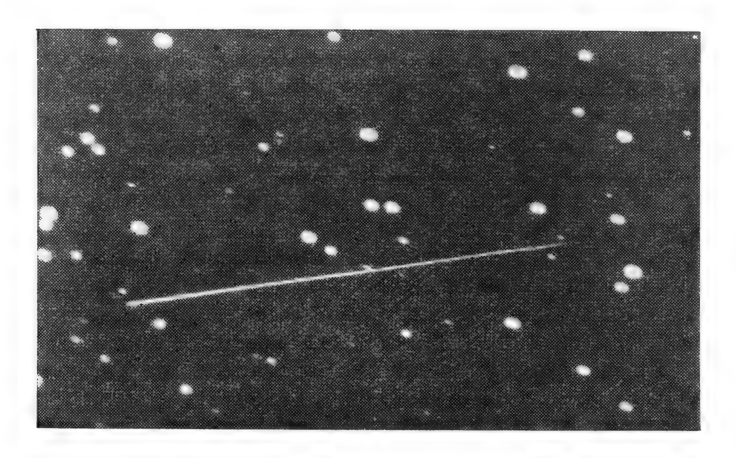


Рис. 69. Фотография, на которой был открыт астериод Гермес. Оставленный им след походит на фотографию метеора — так быстро двигался Гермес по небу.

короткое время, пока проходит вблизи Земли и потому достаточно ярка. С удалением она быстро ослабевает и теряется из виду. Во-вторых, вследствие перспективы такое светило движется вблизи Земли на фоне звездного неба необычайно быстро. 30 октября 1937 г. Гермес, проносясь мимо Земли, выглядел как звезда восьмой величины, и пролетал пять градусов в час! За сутки он пересекал несколько созвездий, и не удивительно, что, получив телеграмму с извещением об его открытии и положении на небе, многие пытались, но не успели его сфотографировать. Кроме того, хотя на некоторых фотографиях он и должен был бы быть,

его следа не оказалось,— так быстро перемещалось его изображение по пластинке, что след не отпечатался. Для наблюдателей он пронесся по небу, как экспресс мимо дачника, неожиданно вышедшего из леса к полотну железной дороги. Орбиту Гермеса удалось установить, воспользовавшись фотографиями, снятыми ранее для другой цели, на которых он, двигаясь тогда медленнее, случайно вышел. Трудность открытия таких астероидов и вместе с тем обнаружение целого ряда их за последние годы показывают нам, что астероиды, приближающиеся к Земле, в действительности многочисленны и очень малы. Астероиды с расстоянием в перигелии около одной астрономической единицы проходят часто далеко от Земли, светят слишком слабо и обнаружить их трудно. Они проходят около Земли вовсе не при каждом своем обращении вокруг Солнца.

К 1974 г. стало известно уже 34 астероида, сильно выходящих по временам за кольцо основной массы малых планет и могущих изредка сильно сближаться с Землей. Их можно разделить на два типа:

1. *Типа Аполлона*, с перигельным расстоянием менее 1 а. е. и, следовательно, проникающие внутрь земной орбиты. Их известно 17, из которых 5 открыты после 1971 г. и только три получили окончательные обозначения.

2. *Типа Амора*, с перигельным расстоянием от 1,00 до 1,26. Их тоже известно 17.

В каждой из групп можно выделить подгруппы: 1) с большой полуосью, меньшей чем у Марса ($a<1{,}52$), 2) находящиеся преимущественно между орбитой Марса и кольцом астероидов и 3) тех, которые являются членами кольца ($2{,}12<a<3{,}57$).

Рекордсменами к 1 января 1974 г. были: с кратчайшим периодом (1,12 года) и наименьшей полуосью орбиты — Икар. У него же и наибольший эксцентриситет орбиты (0,847) и наименьшее перигельное расстояние 0,187 а. е., но наибольший наклон орбиты (68°) у планетки 1973 NA. Наименьшее же расстояние, на которое астероид может иногда сблизиться с Землей, рассчитано только на немногие годы, по-

скольку большие планеты сильно возмущают их орбиты, так что эти астероиды нетрудно и «потерять». С этой оговоркой рекорд 0,003 а. е. $\approx$500 000 *км* остается пока за Гермесом (1937 г.). По размеру меньше всех известных, по-видимому, Адонис с диаметром всего 300 *м*.

Происхождение астероидного кольца, как и больших планет, в этой книге отнесено к последней главе, но о малых планетках, только что описанных, мы еще узнаем из раздела «Где родились кометы».

### ПУТЕШЕСТВИЯ НА ГЕРМЕС И НА ГЕРМЕСЕ

Что бы мы встретили, отправившись в космической ракете на астероид Гермес? Что бы мы увидели с него и как бы мы себя на нем чувствовали?

Прежде всего, путешествуя на Гермесе, мы могли бы увидеть с него земной шар в самых различных видах, в частности, в виде серпа или полукруга. Как с Луны, так и с другого небесного тела и с межпланетного корабля Земля в телескоп никогда не представляется похожей на земной глобус. Почти всегда при наблюдении с Гермеса она имела бы ущерб, какой обычно имеет для нас Луна. Это происходило бы по той же причине — боковое освещение шара лучами Солнца. Окраска поверхности Земли определяется окраской почвы и растительности, между тем как на глобусе краски перемежаются произвольно для обозначения высот и низменностей или для обозначения территорий, принадлежащих разным государствам.

Около половины земной поверхности постоянно скрыто белой, местами сероватой пеленой облаков, которые то заволакивают местность на несколько дней или даже недель сплошным монотонным покровом, то идут над ней прерывистыми клубящимися грядами. Сквозь прорывы мелькают какие-то подробности поверхности, которые трудно разобрать. Иногда пелена облаков редеет, тает, и тогда вдруг вырисовываются части (только части!) знакомых нам очертаний континентов и островов. Такие картины уже

наблюдались космонавтами с борта космических кораблей. Изменение цвета континентов на Земле приводило бы жителей других планет, вероятно, в недоумение. Огромные ярко-зеленые пространства почему-то с течением времени желтели бы или бурели и вдруг, затянувшись пеленой облаков, а затем, вынырнув из нее, поражали бы нас неожиданной ослепительной белизной. Местами казалось бы, что этот ослепительно белый цвет вытесняет все зеленые оттенки, с которыми он несовместим, но, присмотревшись, мы заметили бы, например в Сибири и в Канаде, большие темно-зеленые пространства, сочетающиеся со сверкающими белыми пятнами. Белые пятна, просуществовав несколько месяцев, приняли бы светло-серую, а затем темно-серую окраску и, наконец, снова бы зазеленели, в то время как большие пространства африканских пустынь неизменно сохраняли бы желтый оттенок, не белея и не зеленея в течение года.

Эти странные сезонные и иногда быстрые изменения окраски, связанные с выпадением снега и зеленением трав и лесов весною, ставили бы нас в тупик, если бы мы были постоянными жителями Гермеса или Луны. Ведь на этих светилах не известны снег и облака, а на Луне не известна и смена времен года, и, не имея опыта со сменой времен года, мы могли бы лишь теоретически догадываться о тех последствиях, какие для планеты, имеющей атмосферу, должен оказывать наклон оси вращения к плоскости ее орбиты.

Много и долго можно было бы вести дискуссии, строя предположения о том, почему иногда белеют местности на Земле, а догадавшись, спорить о глубине снежного покрова на Земле и о том, может ли жизнь под таким снежным покровом дождаться весны и тепла; может ли быть на Земле органическая жизнь, не являются ли даже сезонные изменения окраски материков признаком не растительной жизни, а признаком сезонных химических реакций почвы под действием изменяющегося солнечного освещения.

Да, ... не имеющему аналогичного опыта ученому, живущему на другой планете, трудно было бы пред-

ставить себе правильно условия жизни на Земле и их различие в зависимости от климатических поясов...

При наблюдении простым глазом из мирового пространства издалека Земля должна выглядеть, как звездочка зеленоватого цвета — это установлено изучением света Земли, отраженного Луной. Отражая свет Солнца на Луну, Земля делает видимой и ту часть поверхности нашего спутника, которая не освещена Солнцем и как бы вложена в яркий лунный серп. Этот так называемый пепельный свет на неосвещенной Солнцем части Луны заметен тем лучше, чем у́же ее светлый серп. Нетрудно установить, что на небе Гермеса при наибольшем его сближении с Землей она светит там раз в 15 ярче, чем Луна на небе Земли в полнолуние. На лунном небе полная Земля светит в 80 раз ярче, чем полная Луна на земном небе. Видимая с Венеры, она сверкает там в пору своей наилучшей видимости в шесть раз ярче, чем Венера на нашем небе, а на небе Марса блеск Земли равен видимому нами блеску Юпитера. Зато с Плутона Земля представилась бы такой слабой звездочкой, снующей все время вблизи Солнца, что в его лучах эту крошку-непоседу трудно было бы даже и обнаружить. Еще труднее, почти невозможно, было бы установить существование Земли с ближайшей к нам звезды, даже если бы мы располагали там наиболее мощным из телескопов, построенных на Земле*).

Но вернемся к Гермесу и еще раз посмотрим с него в телескоп на Землю. Мы заметим еще, что подробности строения поверхности заметны лишь в середине ее диска.

На краях детали поверхности Земли видны смутно под накладывающейся на них голубовато-белесой пеленой, создаваемой рассеянием солнечного света в земной атмосфере. Причиной этого является опять-таки воздушный океан, набрасывающий на рассматриваемую поверхность как бы вуаль, голубоватую дымку, смягчающую резкость очертаний. Вспомните,

*) В более сильные телескопы, которые будут строиться людьми, это, конечно, станет возможным.

как бледнеют различия цветов и как голубеют все оттенки, когда мы рассматриваем сквозь толстый слой воздуха далекие горы в Крыму, на Урале или на Кавказе, или смотрим на пейзаж с самолета, находящегося на значительной высоте. Кстати сказать, при наблюдении с Гермеса подобные горные цепи обнаруживали бы иногда себя, отбрасывая длинные тени, но благодаря атмосфере эти тени не были бы так резки и темны, как тени гор на Луне.

Одна из наиболее заметных в телескоп подробностей на Земле — сверкающие белые пятна на ее полюсах. По мере того как на одном полюсе такое белое пятно уменьшается (тает), другое растет в размерах и к нему постепенно примыкают по направлению к экватору все бóльшие и бóльшие белеющие пространства (леса и поля, покрывающиеся снегом). Экваториальная и тропические области не белеют так никогда, но первая из них очень подолгу бывает окутана пеленой облаков, низвергающей тропические ливни. Еще ярче снегов сверкает на Земле отражение Солнца от поверхности океанов.

В телескоп, подобный наилучшему из современных телескопов, с Луны или с Гермеса на кратчайшем расстоянии можно было бы видеть в виде отдельных точек неопределенной формы предметы размером до 500 *м*. Мы могли бы рассмотреть в виде какого-то пятна пространство, занятое Москвой и даже менее крупными городами, заметили бы пелену дыма (из труб), курящегося над ними, но вопрос, могли ли бы мы при этом заметить что-либо такое, чтó бы свидетельствовало о существовании на Земле животных, а тем более разумных существ. Вспомните, что я описал в разделе «Есть ли жизнь на Земле?» Так что не всегда оправдывается поговорка: «со стороны виднее».

Впрочем, мы начали с того, что на Гермесе отправился в путь земной ученый, хорошо знающий все, что происходит на самой Земле. Вместе с Гермесом мы погрузились бы в область, занятую астероидами. Мы бы догоняли одни из них, а другие перегоняли бы нас. Тысячи астероидов, вплоть до самых мелких,

дефилировали бы мимо нас и иные из них, проходя мимо, сверкали бы на время ярче всех остальных больших планет. Небо Гермеса, когда он пробегал бы свой афелий, было бы заполнено мириадами блуждающих светил-планет, из которых только пять доступны невооруженному глазу на Земле и издревле известны ее обитателям.

Путь, подобный описанному, через кольцо астероидов в 1973 г. проделала космическая станция США «Пионер-10». Чтобы пересечь кольцо, «Пионеру-10» понадобились месяцы. Много чудесного увидел бы астроном, путешествуя несколько лет вместе с Гермесом, много загадок разрешил бы, но, к сожалению, полет на нем вряд ли был бы удобен.

Следует вспомнить, что на астероидах нет никакой атмосферы, и дышать там было бы буквально нечем. Отсутствие атмосферы лишило бы нас не только дыхания, но и привычного нам давления воздуха снаружи на наше тело. Быть может, не меньше неожиданностей и забот принесла бы нам ничтожная сила тяжести на этой планете-крошке, имеющей поперечник всего лишь около 1 *км*. Сила тяжести была бы там примерно в 10 000 раз меньше, чем на Земле, т. е. практически отсутствовала бы.

Неосторожное движение ногой, и от этого толчка мы подскакиваем высоко над планетой, медленно опускаясь на нее обратно. С высоты в 1 *м* мы «падали» бы на планетку в течение сорока двух секунд. «Падая» с такой «высоты», мы могли бы успеть за это время выпить бутылку молока (или пива, смотря по вкусу), впрочем... это еще большой вопрос, удалось ли бы ее выпить. При такой малой силе тяжести жидкость, лениво выливаясь из бутылки, стремилась бы собраться в шар под действием поверхностного натяжения и «пить» ее было бы, наверно, весьма затруднительно. При ударе от этого шара откалывались бы капли и дробились бы, как ртуть. Не вздумайте приставить губы к этой «капле» молока объемом в бутылку, чтобы втянуть в себя жидкость! При первом же прикосновении губ жидкость разольется по вашему лицу, обволакивая нос, глаза, а затем и все

тело. Впрочем, пить можно, выдавливая жидкость из резиновой бутылки прямо в рот. Не следует, конечно, опасаться, что каждый откушенный кусок хлеба полминуты будет падать в желудок. Жидкость и пища попадают в желудок не под действием тяжести, а благодаря своего рода спазмам пищевода. Если бы жидкость попадала в желудок исключительно благодаря тяжести, то несчастные жирафы никогда не могли бы напиться, или же после каждого глотка им бы приходилось задирать голову с ртом, наполненным водой...

На Гермесе страшна, однако, не «проблема питания»,— больше всего бойтесь своей резвости. Не вздумайте подпрыгнуть от какой-либо радости. Небольшой прыжок вверх — и вы навсегда удалитесь от Гермеса в межпланетное пространство. Дело в том, что скорость, которую ваши мускулы могут сообщить телу во время прыжка, там будет уже выше критической и сможет преодолеть притяжение к астероиду. В этом смысле даже и ходить по Гермесу небезопасно, так что для того чтобы гарантировать себя от расставания с ним и с оставленной на нем ракетой, которая принесла вас на него с Земли, придется, пожалуй, ходить на руках, вернее, цепляться руками за его, вероятно, неровную и угловатую поверхность.

Если вас все это рассердит, то не злитесь, не вздумайте бросать с досады какой-либо предмет на капризную планету. Вследствие закона действия и противодействия это усилие сообщит вам обратный толчок и опять неожиданно столкнет вас с места.

Малая сила тяжести, а отсюда и малый вес вашего тела, позволит вам,— к зависти индийских факиров и дервишей,— безболезненно спать на острых каменных выступах поверхности Гермеса. Часы с маятником длиною в метр отставали бы здесь так сильно, что их пришлось бы бросить. Вместо секунды одно колебание маятника затягивалось бы на несколько минут, а для часов, идущих правильно, потребовался бы невидимый секундный маятник, так как длина его составила бы долю миллиметра.

Много, много неожиданного и интересного показало бы нам пребывание на Гермесе, но описание этого увело бы нас слишком далеко. Ограничимся указанием на то, что в перигелии Гермес подвергал бы нас действию палящих лучей Солнца, греющих там в несколько раз сильнее, чем в самых жарких местах

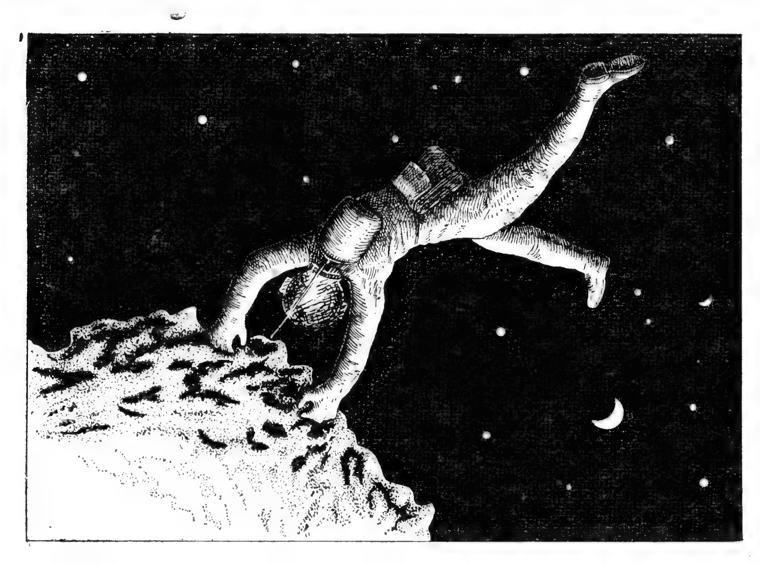


Рис. 70. Трудновато будет будущим межпланетным путешественникам на Гермесе! Чтобы при неосторожном движении не улететь с него в межпланетное пространство, пришлось бы цепляться руками за его поверхность.

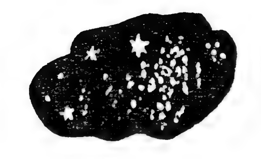
Земли, а в афелии он погружал бы нас в длительные холода, превосходящие земные. По пути нас пронизывали бы космические лучи и обжигали беспощадные рентгеновские и ультрафиолетовые лучи Солнца, бомбардировали бы с чудовищной скоростью и силой крошечные пылинки и камешки, заполняющие мировое пространство. Понадобились бы особые меры защиты от всех этих необычных для нас влияний.

Можно привязать себя к Гермесу веревкой и подтягиваться к нему на ней, если вы случайно слишком

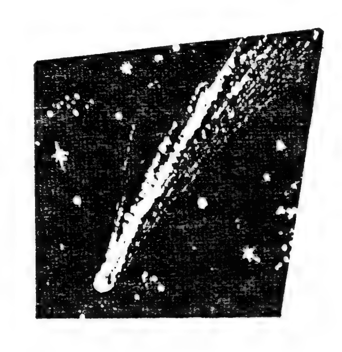
сильно оттолкнетесь от него. Можно надеть специальный костюм — скафандр, надутый воздухом и вентилируемый из запаса его, находящегося в сгущенном виде в ранце за спиной. Солнце будет согревать вас в костюме почти так же, как и на Земле, а от чрезмерного нагревания в перигелии легко будет спасаться, устроив перемежающуюся тень от какого-либо опахала. Электрические нагреватели в случае нужды предохранят вас от мороза, и все это вы свободно могли бы носить с собой — никакая нагрузка не будет для вас страшна. Ведь один килограмм там будет весить такой груз, который на Земле весил бы 10 тонн! Человек свободно мог бы там удержать на плечах груженый товарный вагон...

Многое из того, что сказано здесь о воображаемом путешествии на Гермесе, я написал еще тридцать лет тому назад, когда полет в Космос казался еще несбыточной мечтой. Теперь все это во многом касается настоящих космонавтов, путешествующих в космических кораблях вокруг Земли и к Луне и выходящих в открытый Космос.

После этого небольшого экскурса в область межпланетных путешествий, которые уже перестают быть утопией, и после разбора того значения, которое имеет научное изучение этих планет-крошек, мы обратимся вскоре к еще более крошечным небесным телам.



# ГЛАВА 3



## ВИДИМОЕ НИЧТО

### ВЕСТНИКИ УЖАСА

Старый летописец обмакнул гусиное перо и старательно вывел на чистом месте бумажного свитка: «В лето 7127 (1618) бысть знамение велие: на небесах явися над самою Москвою звезда. Величиною же она бяше, како и прочие звезды, светлостию же она сих звезд светлее. Она же стояше над Москвою, хвост же у нее бяше велик. И стояше на Польскую и на Немецкие земли хвостом. От самой же звезды поиде хвост узок, и от часу же нача распространятися; и хвосту распространившися яко на поприще. Царь же и людие все, видя такое знамение на небесех, вельми ужасошася. Чаяху, что сие есть знамение московскому царству, и страшахуся от королевича, что в тое же пору пришед под Москву. Мудрые же люди философы о той звезде стаху толковати, что та есть звезда не к погибели московскому государству, но к радости и к тишине. О той де звезде толкуется: как она стоит главою над которым государством, ни которова же мятежа в том государстве не живет, а на кои государства она стоит хвостом, в тех же государствах бывает всякое нестроение и бывает кровопролитие многое и междоусобные брани и войны великие меж ними. Також толкование и сбысться».

Тут было над чем задуматься, и летописец пытливо перевернул пожелтевшие свитки, исписанные трудолюбивой рукой его предшественников.

Под 1066 г. в Киевской летописи он прочитал:

«В сии же времена бысть знамение на западе, звезда превелика, лучи имущи акы кровавы, всходящи с вечера по заходе солнечном и пребысть за 7 дней; се же проявление не на добро, по сем бо бяше усобица много и нашествие поганых на русскую землю, си бо звезда бе акы кровавы, проявляющи кровопролитие».

В это же время в Лыхнах (б. столица Абхазии) на стене храма местные хроникеры затейливой грузинской вязью выводили запись: «Это случилось в лето 6669... в царствование Баграта сына Георгия, в 38 индикт, в месяце апреле: показалась звезда, из чрева которой выходил большой луч, связанный с нею. Это продолжалось с Вербной недели до полнолуния».

В это самое время в далекой Нормандии, в Байе, королева Матильда Фландрская ткала по канве изображение этой же самой чудовищной звезды. Ей был посвящен один из уголков той ковровой работы, на которой королева изобразила самые достопамятные эпизоды из заморского похода ее мужа — Вильгельма Завоевателя, герцога Нормандского. Он одержал в Англии победу при Гастингсе, и не ее ли вестником была «эта удивительная косматая звезда»— комета. «Удивляются звезде» — вот надпись по-латыни, которой королева сопроводила вышивку кометы, изображенной над замком и обращающей на себя внимание народа. Английский король Гарольд, сидящий на троне, обсуждает со своим астрологом-звездочетом значение страшного для него таинственного небесного явления.

И норманны, и русские, и грузины видели одну и ту же комету, названную впоследствии кометой Галлея, но о ней потом. А сейчас посмотрите на современную фотографию кометы (рис. 75) и попытайтесь на ней увидеть хоть что-либо подобное тому, что некий Симон Гуляр написал во Франции о комете 1527 г.: «Она навела столь великий ужас, что иные от страха умерли, а другие захворали. Сотни людей видели ее, и всем она казалась кровавого цвета и длинной. На вершине ее различали согнутую руку,

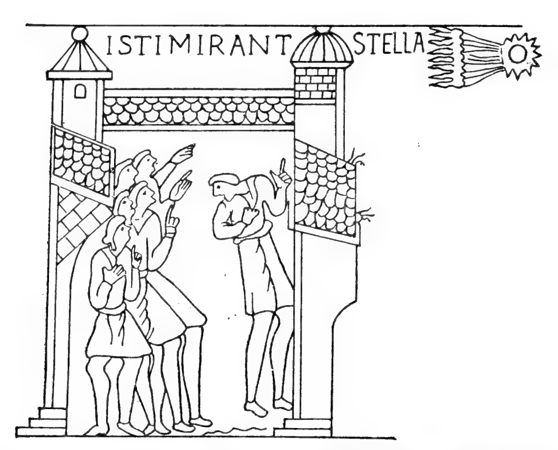



Рис. 71. Старинный ковер с изображением кометы Галлея в 1066 г.

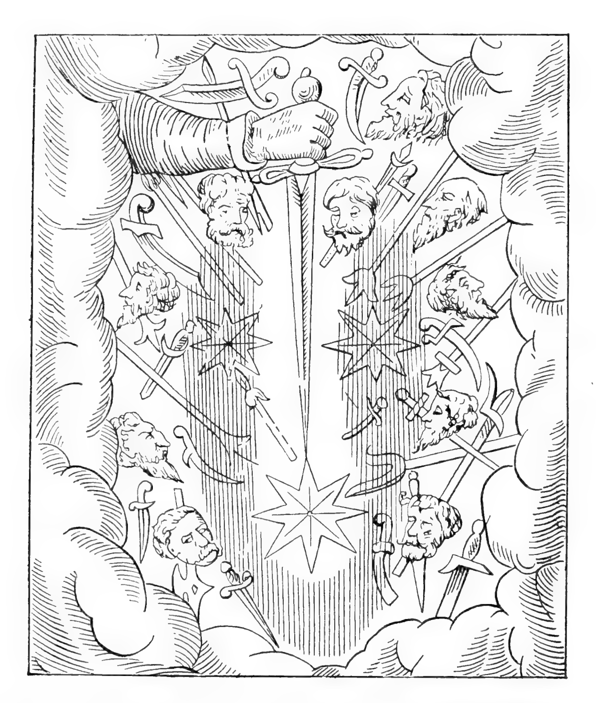


Рис. 72. Комета 1527 г. в представлении современников.

держащую тяжелый меч и как бы стремящуюся им поразить. Над острием меча сверкало три звезды, и та, что прикасалась к нему, превосходила своим блеском остальные. По обеим сторонам от лучей кометы видели множество секир, кинжалов и окровавленных шпаг, среди которых множество отрубленных голов со взъерошенными волосами и бородами производили страшное зрелище».

Подлинно говорят, что у страха глаза велики!...

Гуляр же к своему описанию добавляет: «И что же видела вся Европа в продолжение шестидесяти трех лет, если не пагубные последствия этого ужасного предвестия!» Что ж, верно! Перелистайте хронологию Европы и найдите хотя бы десять или пять лет, в течение которых хоть где-нибудь не было бы разорения или войны, мора или стихийных бедствий, где не умирал бы какой-либо король или князь. Но не от чего иного, как от самомнения, такие правители считали, что именно для них появляются нежданно-негаданно хвостатые светила с тем, чтобы предвещать их личные успехи или смерть.

Так, в 837 г. н. э. французский король Людовик Благочестивый, несмотря на все свое «благочестие», не особенно-то надеялся заслужить «царство небесное». Боялся он упустить и свое царство земное. Он испугался кометы и позвал астролога, т. е. с точки зрения многих богословов «нечестивца», так как астрологи дерзали предвосхищать «божественное провидение». Однако католическое духовенство и астрологи умели ладить друг с другом. И те и другие получали достаточно выгод, чтобы не мешать друг другу. «Иди, — сказал астрологу король, — на террасу дворца и тотчас же возвратись мне сказать, что ты заметишь, ибо я не видел этой звезды вчера вечером, а ты скрыл ее от меня, не показал мне, но я знаю, что это комета и что она возвещает перемену царствующего лица в моей стране. Горе мне!»

Даже в XVII веке в распространенном на Западе сборнике «История чудес» говорилось: «Комета служит верным признаком событий несчастных. Всякий раз, как видят затмение Луны, комету, когда про-

исходит трясение земли, превращение воды в кровь и иные подобные чудеса, то вскоре затем следуют бедствия страшные: кровопролития, убийства, смерть великих монархов, принцев и вельмож, возмущения, измены, опустошение земель, разрушение империй, королевств и городов, голод и дороговизна продуктов, чума, повсеместная смертность людей, падеж скота, словом, все беды и несчастья, могущие постигнуть человека. А потому никто не должен сомневаться в сих знамениях и чудесах, которые предуведомляют нас, что конец мира и последний страшный суд приближаются и стоят на пороге».

При таких страхах и смятении не одна, ставшая с перепугу богомольной, душа отдавала в год кометы свое состояние в монастыри, чтобы избежать наказания за любовь к земным радостям. В монастыри и церкви эпидемия страха несла и богатые поместья и последние полушки бедняков, и что же... Поддерживая ожидание близкого страшного суда и разрушения мира, ни одна церковь и ни один монастырь не отказывались от даяний,— велики ли, скудны ли они были. Что ж, у астрологов, особенно у набожных (а бывали и такие), был всегда выход, и они не так уж рисковали, предсказывая конец мира.

Да, комета предвещала несчастье, ну, а если оно не случалось, то, значит, слезы раскаяния и жертвы в пользу храмов смягчили гнев божий, значит, «господь вложил меч свой в ножны». Особенно же развязывало прорицателям руки, а вернее, языки, выдуманное иными из них замечательное «правило». Беды или события могут-де наступить и не сразу после появления кометы, а через сорок лет, а также через число лет, равное числу месяцев (или недель!), в течение которых видели комету.

На их счастье, у астрологов не было ни теперешних телескопов, ни фотографий, ибо тогда они, как и мы теперь, ежегодно могли бы открывать по нескольку комет, из которых какую-либо один видел бы столько-то месяцев, а другой, с бо́льшим телескопом— дольше. Вот и поди разберись тогда, какие же беды надо приписать той или другой комете!

Не обходилось и без недоразумений, и одно из них вызвала комета 1456 г. с длинным, слегка изогнутым хвостом.

Многие из грабительских походов в средние века на ближний Восток назывались пышно «крестовыми походами», и римский папа Каликст III провозгласил: «Комета сия имеет форму креста. Она благословляет поход христиан, пусть трепещут неверные!». В то же время поклонники пророка с радостью увидели в комете подобие их верного оружия — ятагана и возвестили победу мусульман. Узнав об этом, папа снова стал присматриваться к комете и с ужасом обнаружил, что и точно, комета больше похожа на ятаган. В ужасе папа отрекся от своего пророчества и проклял комету — исчадие ада и помощницу неверным. Что же, комета снова обманула его, и под Белградом турки были разбиты.

«Времена меняются», как говорили римляне, и иной страх перед кометами стал преобладать в умах тех, кто краем уха слышал о природе комет, раскрытой наукой. Не случайны и уже новыми представлениями навеяны следующие строфы Беранже:

Бог шлет на нас ужасную комету,
Мы участи своей не избежим;
Я чувствую, конец приходит свету;
Все компасы исчезнут вместе с ним.
С пирушки прочь вы, пившие без меры,
Немногим был по вкусу этот пир,—
На исповедь скорее, лицемеры!
Довольно с нас, состарился наш мир...

(Перевод *А. Н. Апухтина*)

Во времена Беранже часто рассуждали о возможности столкновения комет с Землей.

Особенно упорно распространяются не только преувеличенные, но и искаженные часто до неузнаваемости слухи, связанные с какой-либо, обычно неверно понятой, фразой из научного доклада. Как пример подобного рода можно привести панику, охватившую Францию в 1773 г. Легко возбуждающиеся французы ждали столкновения Земли с кометой и конца

мира на основании одного лишь объявления о предстоящем докладе Лаланда в Академии наук.

Один из современников (Бошмон) в своих «Секретных мемуарах» 6 мая 1773 г. записал: «В последнем публичном заседании Академии наук господин Лаланд должен был прочитать доклад, самый любопытный из всех, какие были прочитаны, но не успел это сделать за недостатком времени. Его доклад содержит рассуждения о кометах, которые, подходя к Земле, могут вызвать *возмущения* в ее движении. Отсюда возникло беспокойство, которое, распространяясь все дальше и дальше, поддерживалось невежеством и породило множество басен...».

«9 мая.— Кабинет господина Лаланда был переполнен толпой любопытных, которые горели нетерпением узнать что-либо о его докладе. Волнение дошло до того, что набожные люди, ничего не смыслящие в этом вопросе, домогались у архиепископа разрешения совершать службу в течение сорока часов, чтобы предотвратить ожидаемый страшный потоп, и архиепископ уже готов был дать нужные распоряжения, но академики убедили его в странности подобных мероприятий».

Позднее выяснилось, что Лаланд (как теперь известно, ошибочно) допускал, что в будущем какая-нибудь комета, подойдя близко к Земле, может вызвать в ее океанах сильные приливы, но что и это может случиться лишь очень не скоро, через много лет.

По этому поводу современник описанной паники, великий сатирик Вольтер, язвительно писал: «Некоторые парижане... сообщили мне, что приближается конец мира и что мир непременно кончится 20 мая этого года. Они ожидают в этот день комету, которая, подкравшись сзади, перевернет наш земной шар и превратит его в неосязаемую пыль, как гласит якобы предупреждение Академии наук, которое, впрочем, никогда и не было сделано. Нет ничего вероятнее этого события, потому что Иоганн Бернулли в своем «Рассуждении о комете» предсказал, что комета 1680 г. возвратится, произведя страшный погром на

Земле, 17 мая 1719 г. Если Иоганн Бернулли ошибся, предсказав конец мира, то всего лишь на пятьдесят четыре года и три дня. Отсюда ясно, что благоразумие велит ждать конца мира или 20 числа этого месяца 1773 г., или еще через несколько лет, в какомнибудь месяце какого-нибудь года. Если же конец мира и в этот день не наступит, то все-таки можно надеяться, что если что отложено, то оно еще не потеряно...»

Кстати сказать, математик Д. Бернулли, который не раз наряду с ценными мыслями высказывал и дикие суждения, в сочинении «Система комет» заявил, что «если тело кометы не служит видимым признаком божьего гнева, то хвост ее очень может им служить».

Ошибкой было бы думать, что суеверия средневековой астрономии в наше время не встречаются никогда. Они есть и поддерживаются в капиталистических странах наряду с другими суевериями. Так, известно, что Гитлер очень жаловал астрологов и прислушивался к их советам, но они все же не сумели предсказать его судьбу.

По данным газеты «Правда» от 14 августа 1949 г., французские астрологи стремятся не отстать от американских, издающих свои журналы и свободно практикующих наряду со всеми другими гадалками и знахарями.

Обитающий в США астролог Ж. Дюмонсо в своем журнале «Добрый астролог» (добрый — к кому?) дошел до того, что составляет по светилам гороскопы (предсказания) не только для новорожденных людей, но и для новорожденных агрессивных актов. Дюмонсо «установил», что дитя Уолл-Стрита и Сити — «Североатлантический пакт» — родился, т. е. был подписан 4 апреля 1949 г. в 17 ч. по Вашингтонскому времени, т. е. как раз тогда, когда по его данным планета Уран была в центре магического круга, «а эта планета представляет одновременно и вдохновение сторонников пакта и их цель». Он находит (и в этом, очевидно, он прав), что инициатором пакта по гороскопу были США, в соответствии с положением на небе

созвездия Близнецов,— «того знака Зодиака, который управляет их судьбой». Цель этих рассуждений состоит в том, чтобы доказать, что заключение антисоветского пакта есть «необходимость», якобы продиктованная небесами...

## НЕБЕСНЫЕ ХАМЕЛЕОНЫ

По современным фотографиям легко можно познакомиться с разнообразием форм комет и проследить изменения этих форм, позволяющие назвать кометы небесными хамелеонами — так они изменчивы.

Большие и яркие кометы, наблюдавшиеся невооруженным глазом, все, как правило, были с хвостами. Кометы небольшие и неяркие часто имеют едва заметные короткие хвосты, видимые лишь на фотографиях, а иногда даже не имеют их вовсе. Многие кометы видимы лишь в телескоп, как слабые туманные пятнышки, размытые по краям; их называют телескопическими. Но и всякая яркая комета бывает телескопической, маленькой и слабой, когда она далека от Солнца. Хвост у нее появляется и растет по мере ее приближения к Солнцу, а с удалением от него опять уменьшается и пропадает. Кометы, как ящерицы, способны, теряя свои хвосты, восстанавливать их снова.

Видимый размер и блеск кометы зависят, конечно, и от ее расстояния до Земли. Огромная комета, проскользнувшая далеко от нас, может казаться маленькой, и наоборот. Зная три определения положения кометы на небе, сделанные в разное время, можно уже вычислить ее орбиту и после этого учесть влияние расстояния от Земли на вид кометы. Конечно, для того чтобы орбита ее была вычислена надежнее, надо располагать не тремя, а бóльшим числом наблюдений над ее положением.

Блеск кометы (исправленный с учетом влияния расстояния от Земли) в зависимости от ее расстояния до Солнца меняется по-разному, но обычно гораздо быстрее, чем обратно пропорционально квадрату

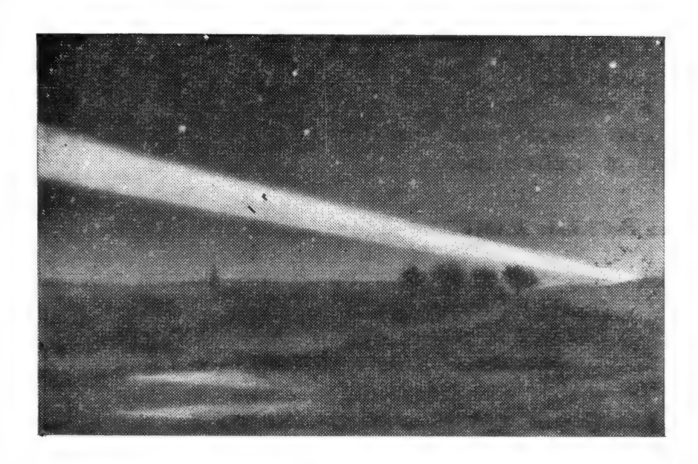


Рис. 73. Исполинская комета 1843 г. Хвост ее достигал в длину 65—70° и был столь ярок, что в Иль-де-Франс (Франция) его сравнивали с «потоком огня из печи».

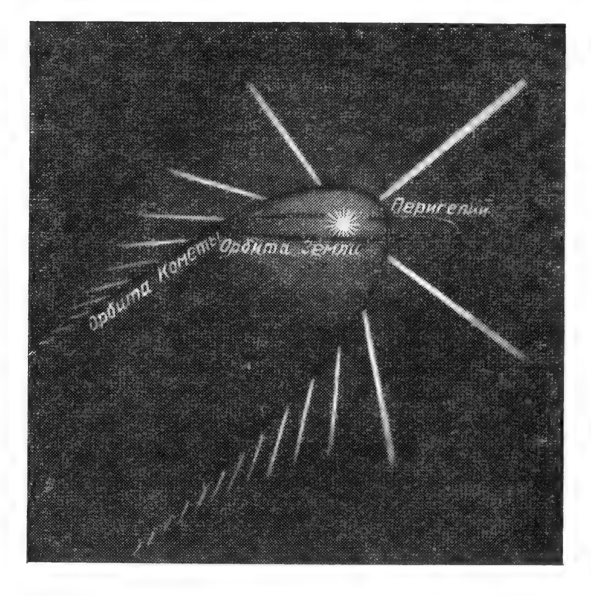



Рис. 74. Хвост кометы всегда направлен прочь от Солнца.

расстояния, как это впервые было установлено проф. С. В. Орловым в Москве. Например, при приближении к Солнцу вдвое блеск кометы увеличивается раз в десять — двадцать. Это показывает, что

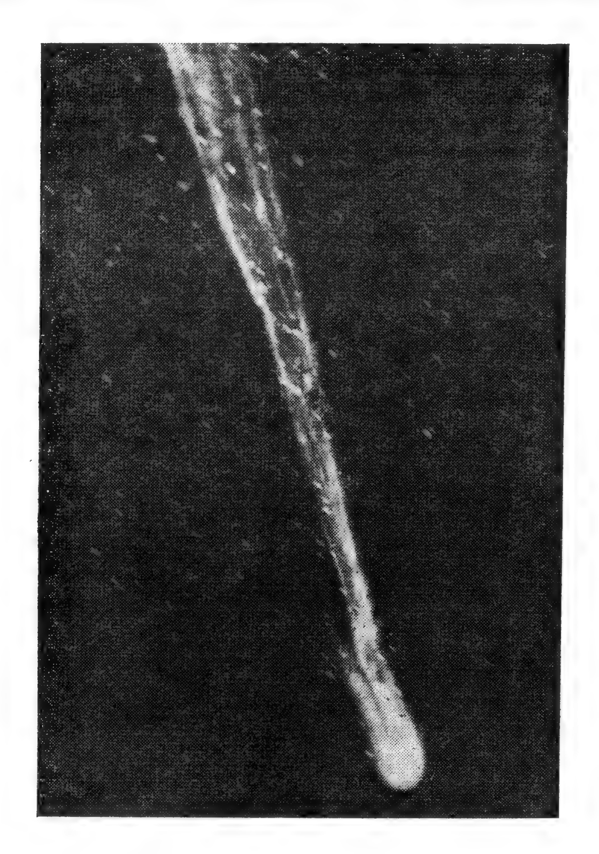


Рис. 75. Комета Галлея в 1910 г.

кометы светят не просто отраженным светом. Иначе блеск комет менялся бы как блеск планет, т. е. просто обратно пропорционально квадрату расстояния, и при приближении к Солнцу вдвое — увеличивался бы только в четыре раза. Подробнее законы измене-

ния блеска комет были изучены С. К. Всехсвятским и Б. Ю. Левиным.

Хвост кометы, как известно, всегда направлен в сторону, противоположную Солнцу, и когда комета удаляется от Солнца, то хвост движется впереди кометы — чуть ли не единственный случай в природе среди созданий, обладающих хвостом...

Комета состоит из нескольких частей, весьма различных по своей природе. Поэтому нередко возникают недоразумения, если говорят о том или другом свойстве кометы, не указывая, о какой ее части, собственно говоря, идет речь.

В комете следует различать *ядро* (точнее, *видимое ядро*), *голову* (называемую также *комой*, если комета без хвоста) и *хвост*. Голова, или кома,— это самая яркая часть кометы, более яркая в центре, в котором обычно бывает видно подобие звездочки, часто туманной. Это и есть видимое ядро кометы. Только оно, может быть, является сплошным твердым телом, но вернее, что и оно состоит из отдельных твердых частей.

Размеры ядер очень невелики; их трудно даже измерить. Например, в 1910 г. комета Галлея проходила в точности между Землей и Солнцем. Если бы ее сплошное и непрозрачное ядро было более 50 *км* в диаметре, оно было бы видно как черная точка на фоне лучезарного солнечного диска. Между тем ничего подобного,— никакой даже малейшей тени на Солнце не было замечено. В 1927 г. комета Понса — Виннеке подошла очень близко к Земле. У ядра ее в сильные телескопы не заметили ни малейшего диска. Отсюда следует, что оно было меньше 2 *км* диаметром. Из оценки его яркости, предполагая, что оно является сплошным телом и отражает свет Солнца в такой же степени, как поверхность Луны, можно было заключить, что его диаметр составляет всего лишь 400 *м*. Вероятнее, однако, что ядро состоит не из одной, а из многих глыб, но еще меньшего размера и отодвинутых друг от друга. В пользу этого вывода говорят еще многие другие факты, с которыми мы познакомимся в следующих главах.

Иногда звездообразное ядро кометы бывает окружено довольно резко очерченным ярким туманом, который некоторые наблюдатели также включают в понятие ядра. От этого тоже происходят иногда недоразумения.

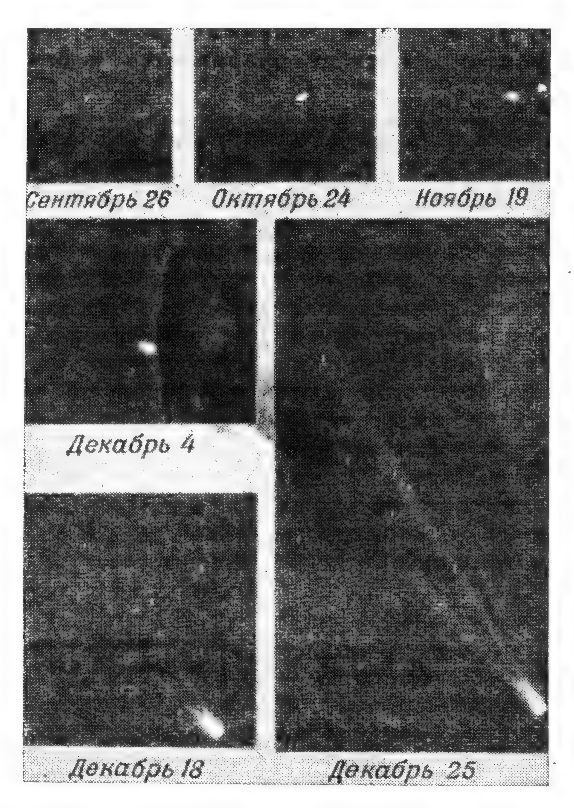



Рис. 76. Последовательное изменение вида одной из комет 1940 г. по мере приближения ее к Солнцу.

Ядро телескопической и вообще слабой кометы всегда окружено большой туманной массой, довольно размытой по краям. Она более или менее круглой формы и ярче к ядру, но часто по мере приближения

к Солнцу становится продолговатой. Тогда ее вытянутость направлена вдоль линии, соединяющей ядро кометы с Солнцем. Иногда из такой туманной массы или комы в сторону, противоположную Солнцу, вытягивается тонкий светлый луч, часто несколько лучей, придающих комете вид луковицы. У более ярких комет по мере приближения к Солнцу такой тонкий «луковичный» хвост развивается в широкий и

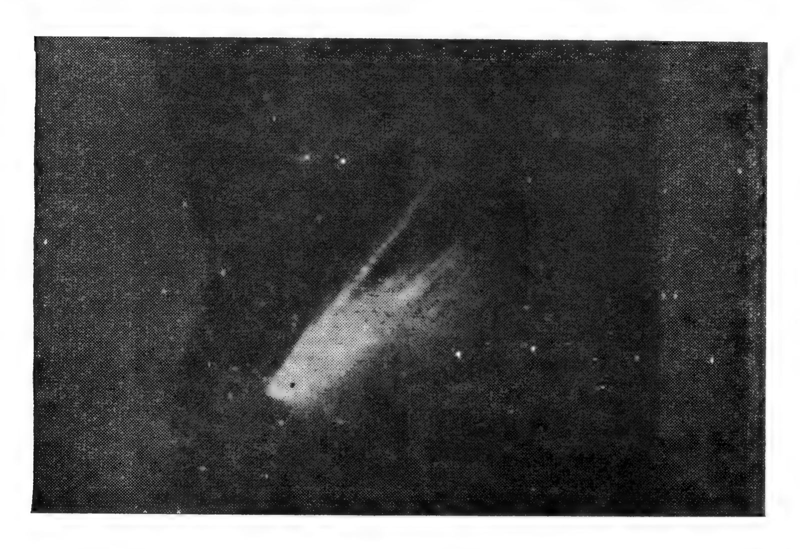


Рис. 77. Комета Мркоса. Эта комета наблюдалась невооруженным глазом в августе 1957 г. Фотография получена 23 августа 1957 г. Фуйита (США).

длинный хвост, и тогда кома получает название головы.

Передняя часть головы, или оболочка ядра кометы, как ее еще называют, имеет форму параболоида. Если будем вращать параболу около ее оси, то поверхность, описываемая ею, и будет параболоидом. Бывали случаи, когда у кометы образовывалось несколько оболочек, как бы вложенных друг в друга наподобие детских разъемных деревянных шариков.

1957 г. подарил нам две яркие кометы с замечательными хвостами. Одну из них открыли Аренд и Ролан в Бельгии, а другую — Мркос в Чехословакии. Быть может и вам, читатель, случалось их видеть?

Когда комета удаляется от Солнца, то явления происходят в обратном порядке, т. е. хвост становится более коротким и менее ярким, потом остается лишь продолговатая кома и, наконец, комета превращается просто в туманное пятнышко с ядром или даже без него.

Появление, развитие и изменение вида хвоста у разных комет происходят весьма по-разному, и даже у одной кометы они не протекают симметрично относительно момента прохождения ее через перигелий. Бывает, что в некоторые дни хвост внезапно ослабевает в яркости, потом снова усиливается. Общий блеск кометы также обнаруживает иногда неправильные колебания. У некоторых комет наблюдалось, обычно временно, сразу по два и даже по три хвоста, хотя неопытный наблюдатель всегда может прямолинейные или чуть кривящиеся лучи, образующие один хвост, принять за отдельные хвосты. Нечто в этом роде обнаружил в 1944 г. советский ученый С. В. Орлов, изучая рисунки кометы 1744 г. Шезо, обладавшей, по мнению современников, якобы шестью хвостами.

Нередко наблюдалось, как из ядра больших комет выбрасывались время от времени, иногда с промежутками лишь в несколько часов, светлые облака, постепенно удалявшиеся в хвост и как бы таявшие в нем с течением времени.

Совокупность таких наблюдений, в особенности сопоставленных, с изменениями спектров комет (о которых скажем ниже), рисует нам кометы как весьма капризные и изменчивые создания.

Изменчивость этих небесных хамелеонов затрудняет их изучение, но в то же время позволяет глубже проникнуть в тайну их строения и развития. Но прежде чем говорить подробнее о физической природе косматых небесных странниц, мы уделим внимание их движению.

## ОТКРЫТИЕ ГАЛЛЕЯ

Верный друг Ньютона Эдмунд Галлей питал слабость к кометам. Его великий учитель, открыв закон всемирного тяготения, доказал, что, подчиняясь этому закону, два тела могут двигаться около общего их центра тяжести только по одному из конических сечений: эллипсу, параболе или гиперболе. Ньютон доказал, что, поскольку притяжения планет друг другом малы в сравнении с могучим притяжением Солнца, каждая из них описывает около Солнца почти правильный эллипс.

Эллиптический характер движения планет был известен со времен Кеплера. Движение по эллипсу оказалось одним из частных видов движения, возможного под действием тяготения. Ньютона интересовало, нет ли в природе других видов движения, выведенных им теоретически, интересовало и то, каково движение комет в пространстве. Не подвержены ли и они, подобно планетам, тяготению к Солнцу и вытекающим отсюда законам движения?

Ньютон придумал способ определения орбиты кометы по нескольким наблюдениям над ее видимым положением на небе среди звезд в разное время. Разработав эту идею, он применил ее к наблюдениям кометы, появлявшейся в 1680 г., и вычислил ее орбиту. Она оказалась параболой, фокус которой совпал с Солнцем. Так было доказано, что кометы, как и планеты, подвержены тяготению к Солнцу и под его действием движутся в Солнечной системе, описывая при этом кривую другого вида, чем планеты, но также предсказанную теорией тяготения. Но Ньютон не считал, что *все* кометы движутся по параболам, т. е. не думал, что, придя из бесконечности и обогнув Солнце, все они снова уходят в бесконечную даль с тем, чтобы никогда не вернуться. Ньютон записал о комете 1680 г., которую он наблюдал и сам:

«Наблюдения и вычисления пути сходились так же хорошо, как сходятся обыкновенно с наблюдениями вычисления путей планет. Периоды обращения комет из подобных вычислений определить нельзя.

Их можно найти только, сравнивая пути комет, появляющихся в разное время. Если окажется, что некоторые из них, появляясь через равные промежутки времени, описывают одинаковые кривые, то надо будет заключить, что это суть последовательные появления одной и той же кометы. Тогда мы определим характер орбиты из самого периода обращения и найдем уже эллиптическую орбиту. Чтобы достигнуть этого, надо вычислить пути многих комет, предполагая их орбиты параболическими, и затем сравнить их между собой».

У Ньютона было много дела и без того, и за подобную трудоемкую задачу взялся Галлей. Он начал с того, что усовершенствовал способ вычисления кометных орбит, придуманный Ньютоном. Потом Галлей собрал из разных книг наблюдения над положением и движением на небе разных комет с 1337 г. по 1698 г. Закончив свой труд, Галлей написал:

«Собрав отовсюду наблюдения комет, я составил таблицу — плод обширного и утомительного труда,— небольшую, но небесполезную для астрономов... Читателю астрономических трудов следует обратить внимание на то, что предложенные мною числа я получил в результате самых точных наблюдений и опубликовал их не прежде, чем после многих лет добросовестного изучения, сделав столько, сколько мог».

Составив таблицу, Галлей, помня указания Ньютона, стал сравнивать орбиты комет, которые в ней заключались, и вот к чему он пришел:

«Довольно многое заставляет меня думать, что комета 1531 г., которую наблюдал Апиан, была тождественна с кометой 1607 г., описанной Кеплером и Лонгомонтаном, а также с той, которую наблюдал я сам в 1682 г. Все элементы сходятся в точности, и только неравенство периодов, из которых первый равен 76 годам и 2 месяцам, а второй 74 годам и $10^1/_2$ месяцам, по-видимому, противоречит этому, но разность между ними не столь велика, чтобы ее нельзя было приписать каким-нибудь физическим причинам.

Мы знаем, например, что движение Сатурна так сильно нарушается притяжением других планет, осо-

бенно Юпитера, что время обращения Сатурна известно нам лишь с точностью до нескольких дней. Насколько же больше должна подвергаться таким влияниям комета, уходящая от Солнца почти в 4 раза далее Сатурна и скорость которой, увеличенная очень мало, может превратить ее эллиптическую орбиту в параболическую. Подобными причинами я объясняю неравенство периодов кометы и поэтому с уверенностью решаюсь предсказать возвращение той же кометы в 1758 г. Если она вернется, то не будет более никакой причины сомневаться, что и другие кометы должны возвращаться... но многие века пройдут, прежде чем мы узнаем количество подобных тел, обращающихся вокруг общего их центра — Солнца...».

Потомство назвало эту комету именем Галлея. Впоследствии некоторым другим кометам также присваивались названия по имени ученых, особенно хорошо изучивших их движение. Так, комета, давно известная под именем кометы Энке, стала впоследствии называться кометой Энке — Баклунда по фамилии директора Пулковской обсерватории, изучившего особенности ее движения.

Комета Галлея не обманула ожиданий того, чье имя она носила, и вернулась. Но к тому времени, как она, хотя и не по своей воле, собралась вернуться, на Земле произошло много событий. Наука о небе далеко ушла вперед. Стало возможным учесть влияние возмущений, производимых планетами, на движение кометы Галлея. Их учет позволил точнее предсказать ее появление. Этот серьезный и большой труд взял на себя французский математик Клеро.

Мало кто знает, какое отношение к комете Галлея имеют красивые бело-розовые или голубые цветы, известные под названием гортензии. Их родина — Япония, и они были впервые вывезены во Францию ко времени возвращения кометы Галлея. Парижская Академия наук назвала этот новый для Европы цветок в честь женщины, которая была верной помощницей Клеро в его вычислениях. Гортензия Лепот — одна из первых ученых женщин, вероятно, вспоминала в эти дни судьбу своей далекой предшественницы,

первой женщины-астронома Гипатии. Много веков тому назад (в IV веке) в знойном Египте, в Александрии, Гипатия изучала течение небесных светил и была растерзана за «колдовство» той же озверелой и темной толпой, руководимой христианскими монахами, которая сожгла величайшую сокровищницу древней учености — Александрийскую библиотеку...

Клеро и Лепот указали более точно время прохождения кометы Галлея через перигелий в середине апреля 1759 г. и предвычислили ее видимый путь по небу. С приближением кометы к Земле и к перигелию комету стали подстерегать ученые, но всех их опередил Палич — крестьянин, открывший ее в декабре 1758 г. Из дальнейших наблюдений выяснилось, что комета Галлея прошла перигелий на 31 день раньше, чем было предвычислено.

В следующем появлении в 1835 г. комета Галлея прошла перигелий всего на 9 дней позже, чем ожидалось по новым, еще более точным расчетам.

В 1910 г. при своем последнем наблюдавшемся появлении, она запоздала к перигелию против вычислений всего лишь на три дня,— так усовершенствовался учет возмущений и точность наблюдения комет. Какова будет ошибка предвычислений к будущему появлению кометы? Оно будет около 1985 г., и автор всем вам, дорогие читатели, желает его увидеть, увы, не рассчитывая на это сам.

Как мы видим, слова Пушкина «...как беззаконная комета в кругу расчисленном светил» могут быть справедливы только в отношении комет, наблюдаемых впервые.

При последнем ее возвращении комету Галлея впервые увидели 11 сентября 1909 г. на предсказанном для нее на этот день месте, когда она отстояла от Земли и от Солнца примерно вдвое дальше, чем Марс отстоит от Солнца. После прохождения кометой перигелия 20 апреля 1910 г. она скрылась из вида (вернее, от стеклянного глаза астрографов, которые в содружестве с фотопластинкой следили за ней на месяц дольше, чем глаза, вооруженные телескопами) 1 июля 1911 г. В это примерно время она на своем

обратном пути от Солнца уже пересекала орбиту Юпитера.

Этот пример дает понятие о том, сколько времени остается видимой яркая комета и на каких расстояниях от Земли и от Солнца она может быть прослежена.

По старинным летописям и хроникам, составленным на Руси и в других странах, было обнаружено много прежних появлений кометы Галлея, начиная с 240 г. до нашей эры, когда ее видели и отметили китайцы. В ее появление в 1066 г. с нее был написан первый, хотя и очень уродливый портрет. Я имею в виду упомянутую уже вышивку королевы Матильды Фландрской, представляющую первую известную нам попытку изобразить комету. Если вы знакомы с исторической хронологией, попытайтесь вспомнить, свидетельницей каких событий на Земле была комета Галлея во время разных своих приближений к Земле. Однако никакие изменения на Земле, протекавшие между любыми ее последовательными возвращениями, не были так грандиозны, как те, которые произошли на Земле со времени ее последнего визита к нам в 1910 г.

## КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОМЕТЫ

Среди комет заметно выделяются и лучше всего изучены короткопериодические кометы, т. е. движущиеся по эллипсам с коротким периодом обращения. Из них наиболее коротким периодом (3,3 года) обладает комета Энке — Баклунда. Наблюдалось уже 39 ее приближений к Солнцу. Еще более короткий период обращения имела комета Вильсона — Харрингтона (1949 IV) — 2,3 года. Однако эта комета наблюдалась только в 1949 г., и с тех пор ее больше не видели.

Периоды других комет этого типа меньше 8 лет, и афелии их в своем большинстве располагаются вблизи орбиты Юпитера, отчего их часто называют кометами группы или семейства Юпитера. В нее входит около полусотни комет. Все они отличаются еще тем, что



Цветная фотография звездных спектров, полученная с помощью большой призмы, поставленной перед объективом крупного телескопа. Фотография Нассау (США).



**Цветная фотография Луны, полученная Н. П. Барабашовым.**

орбиты их близки к плоскости эклиптики (наклонения их не превышают 30°) и движутся они в ту же сторону, что и планеты. Почти все они видимы лишь в телескоп и бесхвосты. Вытянутость их орбит сравнительно невелика, и в этом отношении вне конкуренции находится комета Швассмана — Вахмана, открытая в 1927 г. Ее орбита целиком заключена между орбитами Юпитера и Сатурна, и по малости своего эксцентриситета она в большей степени похожа на орбиты планет, чем на орбиты комет.

Открытие кометы с такой орбитой представляет исключительный интерес, так как оно как бы смыкает класс астероидов (и вообще планет) с периодическими кометами (и кометами вообще). Этот мост перебрасывается не только в смысле характеристики движения. Обращает на себя внимание и незначительная, в смысле яркости и размеров, кома этой кометы. Ослабей она еще немного, и комету Швассмана — Вахмана, пожалуй, совсем нельзя было бы отличить от астероидов. Ее нельзя, конечно, назвать гибридом комет и астероидов, потому, что мы имеем дело не с биологией, но все же она указывает нам на какое-то тесное, хотя и не совсем еще ясное родство между этими двумя небесными семействами.

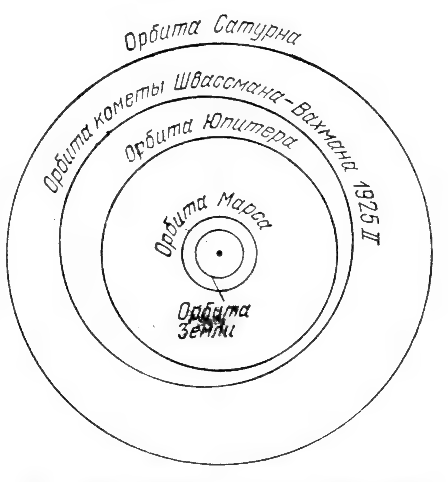



Рис. 78. Орбита кометы Швассмана — Вахмана.

Чтобы не возвращаться потом к комете Швассмана — Вахмана, приведем еще некоторые чрезвычайно интересные данные о ней.

Период ее обращения несколько больше 16 лет, и со времени ее открытия она видна и наблюдается еже-

годно — первый и пока единственный случай в истории наблюдения комет. Поразительны также внезапные чрезвычайно сильные колебания ее блеска. Так, например, 26 ноября 1927 г. комета по блеску равнялась звезде 14-й величины, а через 5 дней неожиданно оказалась ослабевшей в 6 раз. В 1935 г. в марте комета была 18-й звездной величины и получалась лишь на фотографиях, ее не было видно даже в самый сильный телескоп. В апреле она стала в 15 раз ярче, к 4 мая еще в 7 раз ярче, так что за 2 месяца ее блеск (потом снова упавший) возрос в 100 раз, причем за это время расстояние кометы от Земли и от Солнца почти не менялось. Очевидно, в комете происходят какие-то внезапные взрывы либо от действия внутренних причин, либо от внешнего воздействия, может быть, от столкновения с какими-либо небольшими телами (метеоритами). Солнце тут во всяком случае было не при чем (его излучение почти не колеблется), хотя свечение комет и вызывается солнечными лучами.




Рис. 79. Орбита кометы Отерма.

Еще более поразительна орбита кометы Отерма, открытой в 1943 г. Ее орбита, как и у кометы Швассмана — Вахмана, почти круговая и *лежит целиком между орбитами Юпитера и Марса*. Она ничем не отличается от орбит типичных астероидов! От малой планеты ее отличает только наличие туманной оболочки. Из орбит известных астероидов ни одна не совпадает в точности с орбитой кометы Отерма. Блеск кометы очень мал, он не обнаруживает колебаний подобно блеску кометы Швассмана — Вахмана.

Среди короткопериодических комет, кроме тех, которые образуют семейство Юпитера, известно еще небольшое число их, входящее в семейства других больших планет. Кометная семья Сатурна содержит 6 членов, семейство Урана — 4 кометы с периодами обращения 30—40 лет, и 9 комет входят в семью Неп-

туна, среди них комета Галлея — самая яркая из периодических комет.

Афелии комет каждого семейства группируются вблизи орбиты своей планеты, что и является признаком, по которому их относят к той или другой

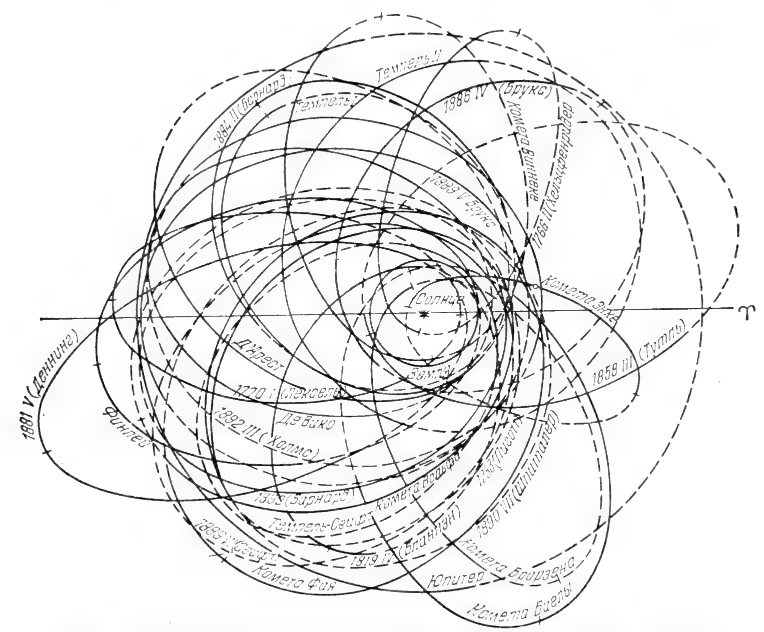



Рис. 80. Орбиты некоторых короткопериодических комет.

семье. Однако, за исключением комет группы Юпитера, подлинная связь других планет со своими семействами комет менее очевидна.

Число известных нам периодических комет все время растет, так как они обнаруживаются непрерывно. С течением времени открываются все более слабые кометы, так как более яркие из них, понятно, были уже обнаружены раньше.

До 1925 г. из полусотни комет с периодами меньше столетия у 25 наблюдалось два или более возвращения их к Солнцу, остальные наблюдались по одному

разу. Причин этому много: например, недавность открытия и большой период, неудобное расположение для наблюдения во время последующих их возвращений и, наконец, исчезновение комет. Но обо всем этом мы расскажем позже.

Около двух десятков комет имеют периоды обращения от 100 до 1000 лет, и существует 30 комет с периодами от одной до десяти тысяч лет.

Чем больше период обращения, тем менее точно он определяется. При периоде обращения в несколько лет ошибка в определении периода может составить одну-две недели, а при периоде порядка тысячи лет эта ошибка возрастает до столетия. Поэтому бывает так, что астрономы не сразу узнают своих старых знакомых. Их облачение и физиономия так непостоянны, как уже говорилось, что узнать их можно не по внешнему виду, а лишь по пути, по которому они следуют. У комет не только нет четкой «физиономии», как у больших планет, но и путь-то их — это не протоптанная дорожка в Солнечной системе. Часто он сильно меняется вследствие возмущений, и это надо учитывать, да и без возмущений вследствие неточного определения больших периодов мы не знаем в точности, когда ожидать возвращения данной кометы. Бывает, комету принимают за незнакомку и лишь позднее убеждаются, изучив ее движение, что это уже старая знакомая, вступившая на новый путь.

### ДОМОЧАДЦЫ ИЛИ ЧУЖЕСТРАНЦЫ?

Чтобы узнать, как, когда и где рождаются косматые светила — кометы, прежде всего надо знать, являются ли они домочадцами в Солнечной системе или же чужестранцами, которые приходят к нам из межзвездных областей. Вам может показаться излишним такой вопрос в отношении только что описанных короткопериодических комет. Но, быть может, в необозримо обширной семье комет, снующих по Солнечной системе в таком же числе, как рыбы в океане, по выражению Кеплера, есть кометы и того и другого рода. Возможно, что периодические кометы — при-

емыши Солнца или что, наоборот, непериодические кометы — дети Солнца, норовящие сбежать из родного дома.

Увы, решить этот вопрос оказалось не так просто, хотя над его разрешением трудится уже много поколений ученых. Есть целый ряд затруднений в этом вопросе, которые не удалось еще преодолеть. Собственно говоря, надо решить два вопроса. Первый из них: есть ли вообще в настоящее время кометы, *действительно* движущиеся по разомкнутым орбитам — параболам или гиперболам? Второй вопрос: могут ли возмущения со стороны планет превратить эллиптическую орбиту кометы в гиперболическую или наоборот? Строго параболические орбиты сами по себе совершенно невероятны, так как для движения по ним комета должна иметь совершенно определенную скорость. Достаточно самого ничтожного отличия ее скорости от этого значения, и орбита будет уже либо эллиптической, либо гиперболической. Правда, и та и другая будут очень близки к параболической орбите. Другими словами, эксцентриситет орбиты, близкой к параболе, может отличаться от эксцентриситета параболы (равного единице) на ничтожно малую дробь, скажем, на одну тысячную или даже еще меньше.

Если посмотреть формально на список элементов кометных орбит, то, например, среди 111 комет, открытых после 1900 г. (которые наблюдались точнее и орбиты которых вычислены поэтому более строго), у 48 отличие от параболической орбиты найти не удается. Среди остальных 63 у 33 эксцентриситеты больше и у 30 меньше, чем 0,990. Первые 33 орбиты близки к параболическим, и у 15 из них эксцентриситет слегка больше единицы. Можно ли быть уверенным в том, что это действительно так?

Мы наблюдаем кометы только на том участке их пути, где они близки к Солнцу и к Земле. Если орбита велика, то этот участок крайне мал в сравнении со всей длиной орбиты. В пределах точности наших наблюдений мы не можем с уверенностью или даже совсем не можем отличить на таком участке гипербо-

лу с эксцентриситетом, чуть бо́льшим единицы, от крайне вытянутого эллипса с эксцентриситетом, чуть меньшим единицы. Они почти сливаются. Иначе говоря, через точки, представляющие наблюденные положения кометы в пространстве, с учетом возможной неточности их определения, мы можем одинаково хорошо провести и гиперболу и эллипс с большим периодом обращения.

Так как орбит резко гиперболического типа с эксцентриситетом, заметно бо́льшим единицы, ни у одной кометы не обнаружено, то можно думать, что в действительности их и вообще нет. Другое соображение, говорящее в пользу того же, следующее. Тип орбиты тела зависит от его скорости на данном расстоянии от притягивающего центра. По отношению к ближайшим звездам Солнечная система несется со скоростью 20 *км* в секунду. Эта скорость, складываясь со скоростью комет, несущихся к нам навстречу из межзвездного пространства, обусловила бы для них резко гиперболические орбиты, каких вовсе не наблюдается.

Тщательные вычисления Стремгрена и его сотрудников в Копенгагене показали следующее. Для 16 комет были учтены возмущения со стороны Юпитера и Сатурна. Орбиты 15 из этих комет до того, как они сблизились с Юпитером и Сатурном и находились на расстоянии Нептуна от Солнца, были эллиптическими. Лишь когда какая-либо из этих комет приближалась к Юпитеру или Сатурну, последние своим притяжением увеличивали ее скорость и делали ее орбиту параболической или слегка гиперболической. Только после этого мы комету и обнаруживали как таковую, ибо до этого она была слишком далеко от нас и не была видима. Таким образом, эти кометы были членами Солнечной системы, пока Юпитер не вышвырнул их из нее, заставив двигаться по гиперболам. К сожалению, мы не имеем все же полной уверенности в том, что таково происхождение всех комет, которые представляются непериодическими.

И все же отрицать возможность того, что некоторые кометы, хотя бы и очень редко, приходят к нам

от других звезд, нельзя. Ведь если кометы выбрасываются из нашей Солнечной системы, то они могут попасть после этого в другую Солнечную систему. А почему тогда к нам не могут прийти кометы, выброшенные таким же образом из других солнечных систем?

Короткопериодические кометы, из которых подавляющее большинство находится в связи с Юпитером, как показывает теория, могли образоваться (вследствие производимых им возмущений) из комет, имевших раньше очень большие периоды обращения, а таких комет — большинство.

Результат возмущающего действия Юпитера зависит от того, какова скорость кометы при ее сближении с Юпитером. Тут играют роль и величина и направление скорости. Если допустить, что первоначальное движение кометы до сближения с Юпитером происходило по параболе, то результат сближения можно представить в форме таблички, приведенной здесь.

Кометы, перешедшие на гиперболические орбиты, вышвыриваются из Солнечной системы и теряются ею. Кометы же, перешедшие на движение по эллипсу в прямом направлении, т. е. с движением в ту же сторону, что у планет, будут снова и снова сближаться с Юпитером, и каждый раз их период будет делаться все более коротким, до тех пор, пока они не вольются окончательно в семью юпитеровых комет.

| Направление движения до сближения с Юпитером | | Новая орбита после сближения с Юпитером |
|---|---|---|
| Одинаково с Юпитером | Большое перигельное расстояние | Эллипс с прямым движением |
| Навстречу Юпитеру | | Гипербола с прямым движением |
| К Солнцу | Малое перигельное расстояние | Эллипс с обратным движением |
| От Солнца | | Гипербола с прямым движением |

Кометы, которые приобрели обратное движение по эллипсу, при следующей же встрече с Юпитером пройдут мимо него «на скорости», близкой к гиперболической, и в большинстве случаев также будут выкинуты из Солнечной системы. Действуя в течение миллионов лет, такой процесс «естественного отбора» комет приведет к образованию семьи короткопериодических комет, имеющих прямое движение под малым углом к плоскости орбит Юпитера и других планет.

Скорость, с которой Юпитер обзавелся семьей комет и завлекает в нее новых членов, зависит от характера их движения до первых роковых встреч с Юпитером. Если они двигались по параболам, повернутым под всевозможными углами к орбитам планет, то Юпитеру приходится сильно менять их движение, и он может пленить только немногие из них, проходящие особенно близко. По некоторым расчетам из миллиарда таких комет период менее 6 лет приобретут только 126 комет, период менее 12 лет — 839 комет, период менее 24 лет— 2670 комет. Из 839 комет с периодом менее 12 лет три четверти будут иметь прямое движение и малый наклон орбиты. К сожалению, все эти расчеты зависят от начального и неизвестного нам распределения кометных орбит. Различия в нем ведут к большому изменению последующей судьбы комет. Вероятнее всего, кометы родились внутри Солнечной системы и до сих пор продолжают оставаться ее членами, но большинство их имеет периоды обращения тысячи лет. Кометы с почти параболическими орбитами, с периодами в десятки тысяч лет, все еще достаточно прочно связаны с Солнцем, если в эту связь не вмешается притяжение Юпитера.

## ОТКРЫТИЕ КОМЕТ

Много шифров было придумано людьми для разных целей, и есть большие специалисты по разгадыванию их. Но расшифровать телеграмму, приведенную ниже, вряд ли бы смог даже Шерлок Холмс.

«Комета Петрова 04117 Октябрь 18490 10073 22513 81101 20153 20056 76503 Андреев».

Зная код, применяемый для краткости сообщения, астроном легко расшифрует эту телеграмму так:

«Комета одиннадцатой звездной величины с ядром открыта Петровым 4 октября данного года в 18 час. 49 мин. мирового времени, видимое положение кометы на небе определялось следующими координатами: прямое восхождение 10 час. 07 мин. 31,1 сек., склонение северное 25°13′01″. Она движется к востоку на 1 мин. 53 сек. по прямому восхождению и к северному полюсу мира на 0°56′ в сутки. Сообщение получено от Андреева». В телеграмме предполагается, что специалистам, которые ее получат, известно, что Андреев работает в Одесской обсерватории.

Мы не будем утомлять вас подробностями шифровки подобной вымышленной телеграммы, приведенной лишь для примера, потому что вам не придется их расшифровывать, и заметим, что Петров в Одессе еще не открыл кометы. Но мы хотим сказать, что и Петров и Иванов в Одессе и в любом другом городе, так же как и всякий другой читатель, могут открыть комету. Если это не известная уже ранее периодическая комета, вернувшаяся снова, ожидавшаяся и имеющая собственное название, то она получает название по имени того, кто первым ее заметил и сообщил о ней.

Бывало, что кому-либо, например Г. Н. Неуймину, удавалось открыть несколько комет. Их не спутают друг с другом, потому что каждая из этих комет Неуймина, как правило, получает еще число, означающее год, в котором она прошла через перигелий, и римскую цифру, указывающую порядок, в котором среди комет данного года она прошла через перигелий. Например, комета Неуймина 1916 II есть комета, открытая Неуйминым и прошедшая в 1916 г. через перигелий второй по счету. Пока даты прохождения через перигелий еще не выяснены для всех комет, открытых за последние годы, их обозначают годом открытия и буквой латинского алфавита в

порядке открытия их в данном году, например комета 1978 a, 1978 b и т. д.

Астрономы-специалисты, особенно в наше время, открывают кометы обычно либо случайно, либо в поисках ожидаемой периодической кометы. Слабые кометы открываются преимущественно по фотографиям, но во всех случаях, для того чтобы убедиться, что открыта действительно комета, и не потерять ее в дальнейшем в случае затяжной пасмурной погоды, необходимо определить, куда и с какой скоростью перемещается комета на фоне звездного неба.

История науки хранит имена целого ряда ловцов комет, которые делали свои открытия иногда с помощью самого скромного телескопа или даже бинокля.

Больше всего комет посчастливилось открыть Понсу (в начале XIX века во Франции и в Италии)— 33 кометы — и американскому любителю астрономии Бруксу (в конце прошлого века) — 25 комет.

Чтобы открыть комету, нужно тщательно осматривать звездное небо в безлунные ночи и обращать внимание на каждое туманное пятнышко. Обнаружив таковое и убедившись по звездной карте, что в этом месте нет какой-либо туманности, остается убедиться в передвижении кометы на фоне звезд, а прежде всего определить ее координаты, для чего в простейшем случае надо хотя бы отметить место кометы на хорошей звездной карте, снабженной координатной сеткой.

Таким способом успешно работают сейчас в Чехословакии Мркос и его жена Пайдушакова, открывшие ряд очень интересных комет.

Применение фотографии облегчило поиски комет и позволило открывать слабые кометы, но и в наши дни открытия комет визуально любителями астрономии очень часты. За открытие кометы выдаются особые медали.

Среди комет, открытых за последние десятилетия, многие носят имена отечественных астрономов: Белявского, Неуймина, Г. А. Шайна и П. Ф. Шайн

(из Симеизской обсерватории), Златинского (из б. Митавы), Дубяго (из Казани), Тевзадзе (из Абастумани в Грузии), Козика, Ахмарова и Юрлова, Бахарева и др.

Одни кометы открываются вдали от Земли и Солнца, как слабые туманные пятнышки, другие же сразу появляются с яркими хвостами, вынырнув внезапно из солнечных лучей, если до этого комета была не видна нам, так как находилась перед Солнцем или

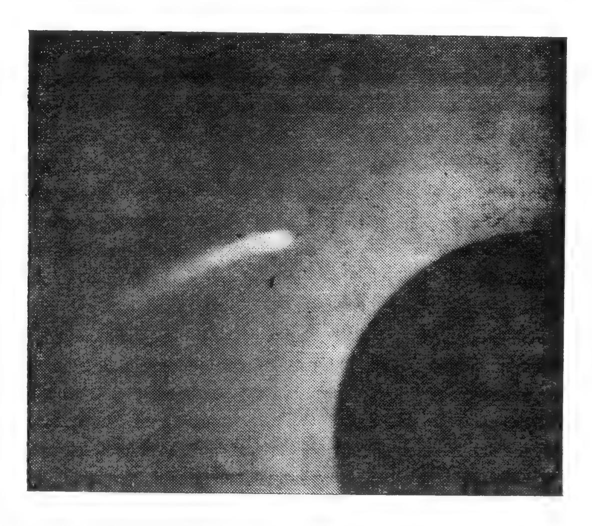


Рис. 81. Комета Икейя около Солнца, закрытого темным кружком.

за ним. Так были открыты комета 1910 a (рабочими алмазных копей в Южной Африке), комета Грига — Скьелерупа 1927 г. и кометы 1947 n и 1948 c. Все они при открытии были видны днем на светлом небе, совсем вблизи от Солнца.

Открытие кометы представляет для астронома волнующий момент еще и потому, что вначале неизвестно, что будет с кометой дальше. Новооткрытая комета — это своего рода «кот в мешке». Может быть, она останется телескопической; может быть, разовьет длинный яркий хвост и будет пугать неосведом-

ленных людей; быть может, она пройдет совсем близко от Земли, или окажется очень короткопериодической — новой или уже известной, либо известной, но потерянной.

Все это выяснится лишь после того, как будет получено не менее трех точных наблюдений ее положения среди звезд. Лишь после этого можно вычислить и ее дальнейший путь по небу и не потерять ее в случае наступления пасмурной погоды. Для этого и надо сразу определить направление ее движения и все данные немедленно сообщить по телеграфу через ближайшую обсерваторию по всем обсерваториям мира.

Иная комета, открытая наблюдателями в северном полушарии Земли, затем быстро уходит далеко в южное полушарие неба, где за ней следят из Африки и Австралии, и следят плохо, потому что там мало обсерваторий.

Опытный вычислитель может определить приближенную орбиту новой кометы по трем наблюдениям за 5—6 часов, пользуясь арифмометром. Точная орбита, основанная на совокупности многих наблюдений, вычисляется несколько лет спустя, и вычисление ее само занимает около года.

До 1950 г. было зарегистрировано около 1000 комет, из них 400 было открыто до изобретения телескопа, т. е. очень ярких. Из 1000 комет для шестисот с лишним определены орбиты. Наиболее богатые кометами были 1948 и 1967 гг. В 1967 г. было открыто 14 комет, а в 1948 г. было открыто 10 комет, но кроме них наблюдались еще 14 комет, открытых ранее, так что всего их наблюдалось в этом году 24! Однако кометы, видимые, хотя бы недолго, без телескопа,— редкое явление. Имевшие небольшой хвост и светившие как звезды примерно 4-й или 5-й звездной величины были видимы в СССР в 1936 и 1943 гг., а яркие и долго наблюдавшиеся кометы с большими хвостами были видимы лишь в 1910 (комета Галлея), 1957 (комета Мркоса) и в 1973—1974 гг. (комета Когоутека).

Если вам представится случай посмотреть такую комету — не упускайте его!

## ПОТЕРИ КОМЕТ

Кометы не только открываются, но и теряются, однако одни теряются нами, другие же теряются сами, вернее, пропадают совсем. Если для новой кометы вследствие пасмурной погоды в период приближения ее к Солнцу или по другим причинам не удалось получить достаточно точных определений ее положения, то вычисленная орбита оказывается неточной. Дальнейший действительный путь кометы сильно отклоняется от вычисленного, и когда слабая комета снова занимает положение, доступное для наблюдений, — ее не находят на ожидаемом месте.

Бывает так, что периодическая комета, встретившись с Юпитером, претерпевает такое значительное изменение орбиты, что становится в дальнейшем невидимой, например, если после этого она проходит всегда слишком далеко от Солнца и от Земли. Комета Понса — Виннеке, с периодом обращения около 6 лет, была открыта в 1819 г. и больше не наблюдалась в течение 40 лет, пока в 1858 г. не открыли ее заново. С тех пор она наблюдалась почти каждые пять лет. За истекшее столетие наклон ее орбиты из-за возмущений удвоился (с 10 до 20°), а перигелий, находившийся вначале почти что на расстоянии Венеры от Солнца, вышел за пределы орбиты Земли. Если бы эта комета не наблюдалась много раз и возмущения в ее движении не были тщательно изучены, то трудно было бы догадаться о тождестве комет 1819 и 1933 гг. Мы бы считали их за две разные кометы, причем периодическую комету 1819 г. зачислили бы в список «пропавших без вести». Учет возмущений, в особенности за долгий срок, представляет собой иногда чрезвычайно трудную и трудоемкую работу. Для успеха такого учета нужно время от времени иметь, так сказать, поверочные наблюдения над положением кометы.

Если в течение нескольких периодов обращения комету не удалось проследить, а возмущения от Юпитера в ее движении велики, то предсказание места неба, где она должна будет появиться в следующем

своем приближении к Земле, будет довольно неопределенным. В таком случае разыскать слабую комету, теряющуюся среди бесчисленных слабых звездочек, не легче, чем найти иголку в стоге сена.

В описанных выше случаях кометы терялись только благодаря тому, что мы теряли их путь. Однако бывают случаи, когда кометы действительно пропадают и перестают наблюдаться, хотя их путь хорошо известен. Вероятно, во многих случаях это происходит вследствие быстрого ослабевания их блеска, наступающего обычно внезапно.

Примером такого рода служит неожиданное поведение кометы Энзора 1926 III. За два месяца до прохождения через перигелий, когда она была открыта, комета светилась как звезда 8-й звездной величины, и затем вследствие приближения к Земле и Солнцу должна была бы легко наблюдаться невооруженным глазом. Можно было ждать, что у нее появится «приличный» хвост. Вместо этого она расширилась, стала размытой, быстро ослабела и вскоре исчезла. Так же проявила себя в 1913 г. периодическая комета Вестфаля. За полтора месяца ее блеск, вопреки ожиданиям, упал на 10 звездных величин!

Другие кометы, прежде чем исчезнуть, делились на части. Такая судьба постигла комету, открытую чешским любителем астрономии Биэлой (или Белым), имевшую период обращения около 7 лет. Ее видели в 1772 г., а потом при ее возвращениях в 1815, 1826, 1832 гг. В 1846 г. на глазах изумленных наблюдателей она разделилась на две почти одинаковые по размерам кометы, из которых каждая была слабее, чем та комета, из которой они получились. С течением времени взаимное расстояние между ними увеличилось. Первоначально спутник был значительно менее ярок и такого же туманного вида. Хвосты обеих комет располагались параллельно, кометы почти сливались друг с другом. Через три месяца спутник стал ярче главной кометы и отстал от нее на половину видимого диаметра Луны. В 1852 г. обе кометы, идя гуськом по прежней орбите, но уже далеко друг от друга, появились снова, но одна стала ярче,

другая слабее. С тех пор ни ту, ни другую больше не видели, хотя позднее они дали о себе знать, а как, это мы узнаем в следующей главе.

Точно так же, проходя вблизи Солнца, в 1916 г. раскололась комета Тэйлора и с тех пор не наблюдалась, хотя комета не была очень слабой, и каждый из

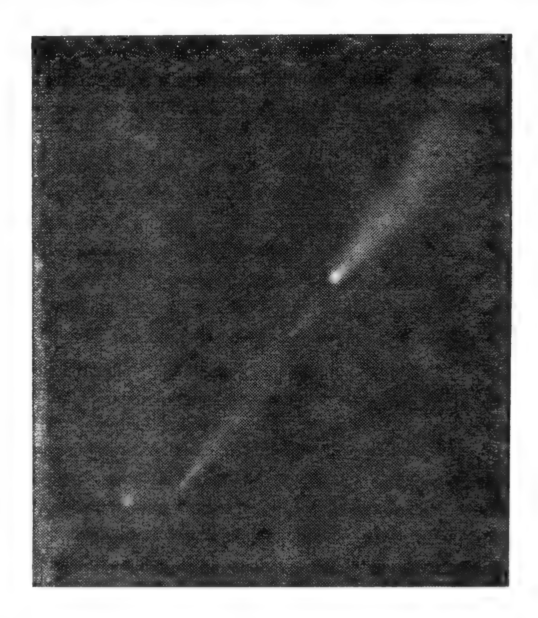


Рис. 82. Комета Брукса (1889 V) с четырьмя спутниками.

ее осколков имел даже свой собственный небольшой хвост.

Периодическая комета Брукса в 1889 г. сопровождалась, по наблюдениям Барнарда, четырьмя слабыми спутниками. У всех были хвосты, но в следующие появления наблюдалась только главная комета; ее спутники, «отпочковавшиеся» от нее, как бы растаяли.

Несомненно, что хвосты и кома комет образуются за счет вещества, выделяющегося из ядра кометы. Приливное воздействие со стороны планет и Солнца

состоит в более сильном притяжении более близких к ним частей ядра. В результате ядро разрушается все больше и больше, и в конце концов совершенно распадается.

Подводя итог, можно сказать, что в списках бесчисленного кометного воинства значатся не только пленные и пропавшие без вести, но и погибшие.

## ВИДИМОЕ НИЧТО

«Видимое ничто» — так метко назвал кометы французский ученый Бабинэ. Этим он хотел сказать, что внешний вид комет иногда бывает устрашающим, размеры чудовищно большими, но вещества-то в них почти и нет. Иные из этих светил бывают видны днем, так они ярки, и хвосты их тянутся далеко, охватывая иногда полнеба. Конечно, яркость и длина хвоста при прочих равных условиях зависят от расстояния кометы от Земли, но, зная его, всегда легко вычислить размеры кометы. Кома, или голова кометы, диаметр которой был бы меньше диаметра Земли, встречается очень редко. Обычно она имеет от 50 до 250 тысяч *км* в диаметре и в среднем раз в десять больше Земли. Голова кометы 1811 г. по размерам превышала даже Солнце, а туманная комета Холмса 1892 г. была одно время по диаметру даже вдвое больше, чем Солнце. Приведенные данные о размерах комет опирались на визуальные наблюдения их углового диаметра.

Фотографии способны выделять более слабо светящиеся внешние части комет. Автор этих строк установил, что голова даже скромной кометы 1943 I, еле заметной на темном небе невооруженным глазом, имела диаметр не менее 2 млн. *км*, т. е. была раза в полтора больше Солнца! Размер головы каждой кометы неправильно меняется и, как правило, в общем уменьшается с приближением кометы к Солнцу. Например, у кометы Галлея, когда она находилась в 1909 г. вдвое дальше от Солнца, чем Марс, ее голова была вдвое больше Земли. Приблизившись к орбите Марса, голова кометы возросла в 15 раз, но к

перигелию уменьшилась вдвое. Удалившись от Солнца вдвое, голова возросла опять в полтора раза, но когда комета снова подошла к орбите Юпитера, диаметр ее головы только в четыре раза превышал поперечник Земли.

Хвост кометы, всегда лежащий в плоскости ее орбиты, еще грандиознее. У больших комет длина хвоста того же порядка, что расстояния между орбитами близких к Солнцу планет. У той же кометы 1811 г. вблизи перигелия (когда ее голова находилась совсем близко к Солнцу) длина хвоста превышала расстояние от Земли до Солнца. Световой сигнал, пущенный из ядра кометы, был бы воспринят в конце кометного хвоста лишь через 10 минут, а крик, если бы он мог передаваться в хвосте кометы без ослабления и с той же скоростью, как в воздухе, достиг бы конца кометного хвоста только через двадцать лет.

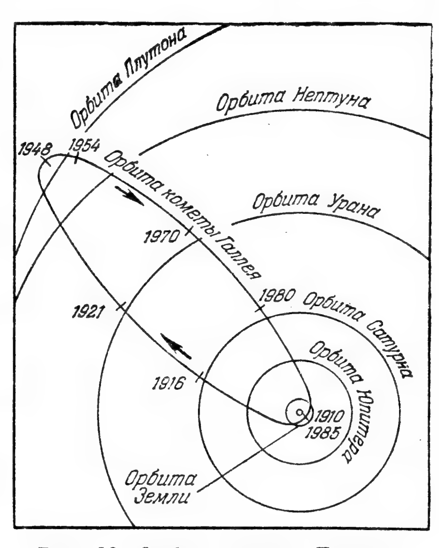



Рис. 83. Орбита кометы Галлея.

Объем больших комет в сотни раз превышает объем Солнца, и если бы средняя плотность комет была равна плотности воды, то первое же вторжение такой кометы в Солнечную систему произвело бы в ней полный разгром. Все планеты сорвались бы со своих орбит, и само величественное Солнце с бешеной скоростью начало бы кружиться около кометы или бы даже упало на нее.

Между тем кометы, пролетая среди системы планет, ведут себя в ней не как грозные завоеватели, а как бледные тени, неслышно скользящие от планеты

к планете. Плавная поступь комет, при которой они иногда даже задевают планеты, не производит на последние ни малейшего впечатления, и, наоборот, комета каждый раз сворачивает с намеченной тропы, когда она проходит вблизи массивной планеты. Мы видели, что это ведет либо к превращению кометы в короткопериодическую, либо к изгнанию ее из Солнечной системы.

Из-за отсутствия ощутимого притяжения планет кометами массу кометы определить точно невозможно и можно лишь указать ее верхний предел. Если бы масса кометы была больше такого предела, то притяжение ею планет было бы заметно хотя бы чуть-чуть. Так получается, что масса даже самых крупных комет меньше 1/10000 массы Земли. Исходя же из других дополнительных данных, надо думать, что масса комет еще во много раз меньше — меньше миллионной доли массы Земли.

Ничтожность кометных масс очевидна с космической точки зрения, но с земной точки зрения эта масса все же громадна. Если даже масса кометы в тысячу миллиардов раз меньше массы Земли, то все же она составит миллиард тонн, или около того количества земли, какое было вырыто и вывезено при прорытии Беломорско-Балтийского канала.

Ничтожно малая по сравнению с планетами масса комет при всей грандиозности их объема нисколько не мешает им двигаться в Солнечной системе, не встречая ни малейшего сопротивления. Межпланетное пространство безвоздушно, и если бы Земля внезапно исчезла со всем, что на ней есть, так что от нее осталась бы только одна пушинка из самой нежной перины, то эта пушинка продолжала бы нестись вокруг Солнца с той же скоростью 30 *км* в секунду, с которой она неслась вместе с Землей. Огромное «лобовое сечение» комет нисколько не сказывается на их движении.

Очевидно, что средняя плотность комет чудовищно мала, если представить себе ничтожно малую массу кометы распространенной по всему ее колоссальному объему. Распылите... 1/1000000000000 долю

земного шара по объему, в сотни раз превышающему Солнце, объем которого в свою очередь в миллион триста тысяч раз больше земного. Возьмите зернышко пшеницы, отделите от него одну миллионную часть, разотрите ее в тончайшую пыль и развейте ее по залу Большого театра в Москве — вот будет примерно средняя плотность комет. Можно ли ее себе представить? И, однако, она достаточна, чтобы создать видимость громадного и яркого светила. Разве не справедливо назвать эту отчетливо видимую комету «видимым ничто»!

Все наши понятия о том, как можно «пускать дым или пыль в глаза» и «делать из мухи слона», бледнеют перед способностью природы.

Еще поразительнее наши расчеты будут, если мы учтем, что практически вся масса кометы сосредоточена в ее крохотном ядре и что на долю огромной головы приходится несравненно меньшая масса и еще меньшая масса приходится на чудовищный объем хвоста. Самой плотной частью кометы должно быть ядро, затем голова, затем начало хвоста, и, наконец, сам хвост, незаметно переходящий в безвоздушное межпланетное пространство.

В 1960 г. автор этой книги впервые определил плотность газов на разных расстояниях от ядра в комете. Это была комета 1943 I. Масса ее газовой оболочки была $8 \cdot 10^4$ *т*. Плотность менялась обратно пропорционально квадрату расстояния от ядра. Вблизи него было $10^{11}$ молекул/*см*$^3$, а на расстоянии 370000 *км* только две молекулы циана и одна молекула углерода $C_2$ в 1 *см*$^3$.

Только ядро кометы может быть твердым. Вся масса ядра по размеру не превысила бы небольшого астероида. Если требовать, чтобы у комет, имеющих голову и хвост, непременно было «туловище», как главная часть ее массы, то «туловищем» скорее всего будет само ядро кометы, находящееся к тому же внутри головы!...

Ядро — самая яркая и непрозрачная часть кометы. Через голову же и тем более сквозь хвост свободно проглядывают слабые звезды, и это указывает на

разреженность вещества кометы. Непосредственно бывает видно, как голова и хвост кометы образуются за счет вещества, выделяющегося из ядра кометы, и тем энергичнее, чем она ближе к Солнцу. Это вещество в периодических кометах выделяется непрерывно, особенно в перигелии. За один оборот кометы около Солнца из ядра выделяется только ничтожная часть его вещества, идущая на образование комы и хвоста.

## ПРИЧИНА СВЕЧЕНИЯ КОМЕТ И ИХ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Во времена Ломоносова еще ничего не было известно о законе изменения блеска комет и тем более об их спектрах. Однако Михаил Васильевич Ломоносов со свойственной ему научной проницательностью охарактеризовал свечение комет с точки зрения, близкой к современной. Он писал: «Комет бледного сияния и хвостов причина недовольно еще изведана, которую я без сомнения в електрической силе полагаю...»

Светись комета только отраженным светом, ее блеск с приближением к Солнцу (после учета изменения ее расстояния от Земли) менялся бы обратно попорционально квадрату расстояния ее от Солнца. Примерно так и ведет себя блеск ее звездообразного ядра, что согласуется с тем, что оно состоит в основном из твердых кусков, попросту отражающих свет Солнца.

Это подтверждается также и характером спектра ядра. Обычно он является копией солнечного спектра, как и полагается спектру отраженного света. Но когда ядро кометы приближается к Солнцу, то в его спектре появляются яркие линии излучения натрия. В спектре ядра кометы 1882 г., подошедшей чрезвычайно близко к Солнцу, были обнаружены даже яркие линии железа и никеля, пропавшие, когда комета от него удалилась. Потом исчезли и линии натрия. Все это нужно объяснить тем, что твердое ядро кометы, когда оно подходит очень близко к Солнцу, нагревается настолько, что начинает испаряться,

превращаясь в раскаленный, светящийся пар. Натрий превращается в пар и светится при меньшей температуре, чем железо, т. е. на большем расстоянии от Солнца; ближе к нему не выдерживает и железо. Распределение яркости в голове кометы вследствие таких процессов подробно исследовал теоретически Д. О. Мохнач (в Ленинграде).

Блеск головы кометы меняется с приближением к Солнцу значительно быстрее, чем обратно пропорционально квадрату расстояния, чаще всего примерно как его 3-я или 4-я степень. Это показывает, что свечение (блеск) головы кометы зависит от Солнца, но не является просто отраженным. Очевидно, Солнце возбуждает свечение кометы, но свечение холодное; это свечение возникает не вследствие обращения кометы в раскаленный пар, так как комета светится даже будучи далеко от Солнца, где ее температура должна быть много ниже нуля. Пыль не может дать подобного свечения,— его могут дать только газы.

Поведение блеска комет все же очень прихотливо, и описанная выше зависимость от расстояния до Солнца меняется не только от кометы к комете, но и у одной кометы на ее пути вокруг Солнца. Это говорит безусловно о неустойчивости кометного ядра, о возможности быстрых изменений на его поверхности. Ярким примером этого является история кометы, открытой чешским астрономом Когоутеком ранней весной 1973 г. В это время она была еще очень далеко от Солнца и поэтому была очень слаба (16-й звездной величины). Но вычисленная вскоре ее орбита оказалась имеющей перигелий очень близко к Солнцу, всего 0,14 а. е. или $21 \cdot 10^6$ *км*. Это очень вдохновило наблюдателей, так как, предполагая, что для нее оправдается закон повышения блеска как четвертая или даже более высокая степень расстояния от Солнца, они ожидали, что комета в декабре и январе станет почти столь же яркой, как Венера, и надеялись изучить ее очень подробно. Однако комета увеличивала блеск очень медленно и в декабре была лишь едва видима глазом, тем более, что наблюдать ее мешал свет зари. Лишь в январе 1974 г. она стала

примерно 2 зв. величины и удалось ее изучить инструментами средней силы. Шумиха, поднятая журналистами по поводу этой «кометы века», как они ее назвали, оказалась преждевременной.

Некоторые молекулы кометного газа поглощают солнечный свет, а затем снова его же излучают в той же длине волны. Такое излучение физики называют *резонансным*. Другие молекулы поглощают энергию Солнца в виде ультрафиолетовых лучей, но излучают их в виде лучей с другой длиной волны, видимых глазу. Такое свечение физики называют *флуоресценцией*. Пример флуоресценции представляют некоторые вещества на Земле, например, сернистый цинк; «освещенные» невидимыми глазу рентгеновскими лучами в темноте, они от этого светятся видимым светом, часто зеленым или голубым. Теория происхождения таким путем кометных спектров, разработанная в Бельгии Свингсом, подтверждается новейшими детальными наблюдениями.

Спектр головы кометы показывает, что она состоит из молекул, т. е. химических соединений, излучающих не узкие яркие линии, а широкие *полосы*. Химический состав этих газов удалось выяснить подробнее лишь за последние годы. Оказалось, что голова кометы состоит из молекул углерода ($C_2$), циана (CN), углеводорода (CH). Недавно были обнаружены гидрид азота (NH), гидроксил (OH) и $NH_2$.

В 1970 г. было произведено первое наблюдение кометы с борта искусственного спутника Земли ОАО-2. С него в ультрафиолетовом свете (не доходящем до Земли вследствие его поглощения в ее атмосфере) было обнаружено, что ядро кометы Таго — Сато — Косака 1969 g было окружено водородным облаком, которое по размерам было больше, чем Солнце. Огромность этого облака сама по себе не удивила уже астрономов, потому что еще тридцатью годами ранее автор этих строк доказал, что у кометы 1943 г. и пары циана составляли оболочку, бóльшую чем Солнце.

Яркость разных полос в спектре у разных комет бывает различна, и в одной и той же комете она ме-

няется с изменением ее расстояния от Солнца, по-видимому, как вследствие изменения пропорции газов, составляющих голову кометы, так и вследствие изменения условий их свечения. Главную роль все же играют всегда углерод и циан, который является, как известно, крайне ядовитым газом и главной составной частью сильного яда — синильной кислоты.

В спектре головы кометы, кроме ярких полос, присутствует и непрерывный спектр, который, возможно, также принадлежит молекулам газа и не является спектром света, отраженного от Солнца. Однако большинство ученых полагает, что пыль в голове кометы все же должна быть и что из нее же состоят изогнутые хвосты (II типа по классификации Бредихина), так как у них тоже наблюдается непрерывный спектр. Если бы в этом спектре удалось обнаружить и темные линии, имеющиеся в спектре Солнца, наличие пыли в хвостах комет было бы доказанным.

Хвост кометы, когда он широкий и яркий, иногда обнаруживает непрерывный спектр, свидетельствующий о наличии в нем пыли. По большей части, однако, спектр хвоста кометы газовый, обнаруживающий наличие ионизованных углекислоты $CO_2$, окиси углерода $CO$, молекул азота $N_2$. Как известно, окись углерода $CO$ образуется в печах при неполном сгорании топлива и тоже ядовита, хотя и не так, как циан. Ее называют угарным газом. Вы видите, что на вопрос о химическом составе комет ответить кратко нельзя, так же как, например, на вопрос о содержании большой цирковой программы: состав комет разнообразен, он сложен и в разных частях комет (в ядре, голове и хвосте) различен.

## ЧТО ПРОИСХОДИТ В КОМЕТАХ

Выдающийся русский ученый Федор Александрович Бредихин бо́льшую часть своей жизни посвятил изучению кометных явлений и созданию теории образования кометных хвостов. К концу прошлого столетия он создал стройную теорию, принятую теперь всеми учеными.

Часто бывает видно, как в голове большой кометы из ядра, на стороне, обращенной к Солнцу, выделяется в виде фонтана светящееся вещество. Иногда оно имеет вид нескольких струй. Направляясь сначала к Солнцу, струи заворачивают в стороны, растекаются назад и, огибая ядро кометы, создают вокруг нее голову — оболочку, имеющую параболические очертания. Выделяясь в большом количестве, газы головы все дальше уходят от Солнца и создают кометный хвост. Вещество хвоста все время движется прочь от Солнца и рассеивается в пространстве, а на смену ему из ядра поступает все новое и новое вещество. Чем ближе комета к Солнцу и чем сильнее нагревается ядро, тем быстрее и в большем количестве выделяется из него газ, тем ярче, пышнее и длиннее хвост.

В ядре бесхвостых комет вещества выделяется слишком мало, и то же бывает у больших комет, когда они далеки от Солнца и когда они также лишены хвоста. Такие кометы почти круглы.

Иногда наблюдалось, как в ядре яркой кометы происходит нечто вроде взрыва, потому что вдруг из него выделяется светлое облачко, быстро переходящее в хвост и ускоренно двигающееся вдоль него. Иногда такое облачко вытягивается, располагаясь поперек хвоста. Бывает, что ряд облачков выбрасывается из ядра друг за другом. Некоторые из них несутся так быстро, что уже за несколько дней, а то даже и часов, проходят всю длину хвоста — десятки миллионов километров — и рассеиваются.

Бредихин обратил внимание на формы кометных хвостов, среди которых есть и почти прямые, направленные почти прямо от Солнца, и изогнутые в той или другой степени. Степень кривизны хвоста Бредихин объяснил величиной отталкивательной силы, исходящей от Солнца и действующей на частицы кометного хвоста. Чем больше отталкивательная сила по сравнению с силой тяготения к нему, тем прямее хвост. Бредихин вывел формулы, позволяющие вычислить эту силу по форме хвоста, а С. В. Орлов усовершенствовал их и дал более точные способы

вычисления этих сил по движению облаков газа в хвосте кометы в тех случаях, когда они наблюдаются.

Оказалось, что в очень сильно изогнутых хвостах (III тип) тяготение преобладает над отталкиванием, в менее искривленных (II тип) — отталкивание уравновешивает тяготение, и выброшенные частицы движутся по инерции. В почти прямолинейных хвостах (I тип) отталкивание превышает тяготение в десятки, а иногда даже в сотни раз. В комете Брукса 1893 IV автор этой книги обнаружил частицы, двигавшиеся под действием отталкивательной силы, в 3000 раз превышавшей тяготение!

У немногих комет наблюдались светлые конусообразные придатки, выходящие из головы и направленные вершиной к Солнцу. На них отталкивательная сила не действует.

Зависимость кривизны хвоста от соотношения между отталкивательной и притягательной силами, действующими на него одновременно, можно до некоторой степени представить себе на следующем примере. Представьте, что паровоз мчится, извергая из трубы клубы дыма, как несется комета, извергая частички из своего ядра. Теплый воздух увлекает частички дыма вверх, а сопротивление воздуха при безветренной погоде отклоняет столб дыма назад. Сопротивление воздуха возрастает со скоростью движения паровоза. Мы его уподобим отталкивательной силе Солнца. При большой быстроте паровоза струя дыма, не кривясь, сразу отклоняется назад, стелясь ровной прямой линией.

Что же заставляет частички комет, безусловно, притягиваемые Солнцем, одновременно отталкиваться от него и часто с гораздо большей силой?

Первый ответ на этот вопрос дал другой замечательный русский ученый П. Н. Лебедев. Лебедев впервые доказал тонкими опытами, что свет давит на легкие частицы; это вытекает также и из теории световых явлений. Свет давит на всякое тело с силой, пропорциональной поверхности тела. Для обычных земных предметов эта сила ничтожна по сравнению с

их весом и потому не производит никакого ощутимого действия. Так, сопротивление воздуха очень мало́ для бомбы, брошенной с самолета. Но сопротивление воздуха, пропорциональное лобовой поверхности или поперечному сечению тела, оказывается очень велико по сравнению с весом для парашютиста или для пушинки. Они опускаются на Землю гораздо медленнее, чем бомба, потому что поверхности парашюта и пушинки велики по отношению к их весу или массе. Мелкая пыль оседает медленнее, чем крупная, когда хозяйка занимается уборкой комнаты. Причина та же — вес пылинок пропорционален их массе, т. е. объему, т. е. кубу их диаметра, а сопротивление воздуха пропорционально поверхности пылинок, т. е. квадрату их диаметра, и с уменьшением диаметра вес убывает быстрее, чем поверхность. Если диаметр шарика уменьшить в десять раз, то его вес уменьшится в тысячу раз, а его поверхность — только в сто раз.

Поэтому при уменьшении размеров частиц давление света на них будет убывать медленнее, чем их масса. С уменьшением размера частички отношение силы отталкивания ее светом к силе ее притяжения Солнцем будет возрастать. Как показывает расчет, при размерах пылинки, сравнимых с длиной световой волны, т. е. при размерах, измеряемых тысячными долями миллиметра и меньше, сила отталкивания сравняется и может стать больше, чем сила тяготения к Солнцу на любом от него расстоянии.

Таким образом, хвосты комет II и III типов образуются из мельчайшей пыли, исторгаемой ядром, быть может, при столкновении глыб, из которых оно может состоять, или из пыли, освобождающейся при испарении загрязненного «ледяного» ядра. Но спектральный анализ показал, что хвосты комет I типа содержат газы, главным образом ионизованную окись углерода $CO^+$.

Развитие теории атомов и молекул показало, что и на них действует давление света, хотя молекулы и нельзя рассматривать как простые маленькие шарики. Сила давления света на молекулы зависит от

строения молекул. Сравнительно недавно удалось сделать подсчет для молекул окиси углерода и оказалось, что для них давление света хотя и превышает тяготение к Солнцу, но не так сильно, как требуют наблюдения. Дальнейшее развитие уже не механической, а чисто физической теории комет требует дальнейших успехов в области изучения строения молекул и их свойств. Многие приходят теперь и к той мысли, что в образовании кометных хвостов играют роль электромагнитные силы и бомбардировка кометы частичками, выбрасываемыми с поверхности Солнца.

Солнце постепенно испускает потоки корпускул, потоки *плазмы*, т. е. струй ионизованного газа, несущих с собой магнитное поле. Силовые линии магнитного поля ведут себя как упругие нити. Ионизованные газы головы кометы при столкновении с солнечным корпускулярным потоком «продавливают» эти силовые линии и придают им форму цепной линии. (Такова форма провисающей тяжелой нити, концы которой закреплены на одном уровне.) Такую форму имеет передний край головы больших комет. В изменениях формы хвостов I типа, в движении в них облачных образований и других, остававшихся плохо объяснимыми явлениях в кометах, также могут играть роль корпускулярные солнечные потоки и магнитные силы. При столкновении газа кометы с газом корпускулярного потока возникает ударная волна и импульс протонов потока может передаться ионам кометного хвоста через магнитное поле, несомое потоком. Через него газы хвоста проникнуть не могут и оно их увлекает. Молекулы, из которых состоит хвост, всегда ионизованы; в голове кометы такие молекулы отсутствуют. Вместе с тем молекулы хвоста из молекул головы путем химических реакций возникнуть не могут. Поэтому предполагается, что непосредственно из ядра выделяются какие-то ненаблюдаемые «родительские» молекулы. Это может быть вызвано тем, что их полосы, вероятно, лежат в невидимой с Земли ультрафиолетовой области спектра. Под действием солнечных лучей «родительские»

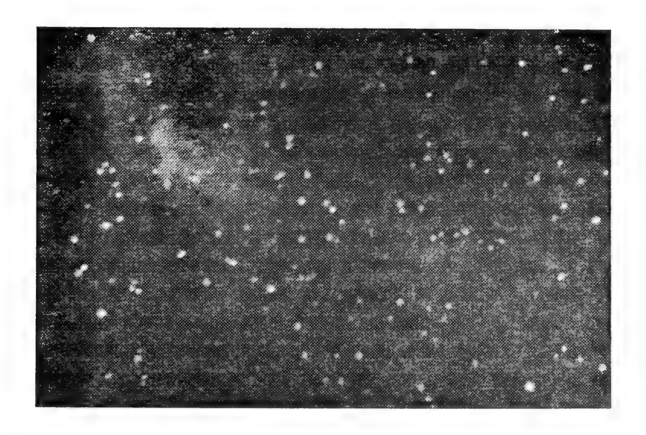


**Рис. 84.** Поразительные изменения в хвосте кометы Хамасона. Вверху — снимок 6 августа, внизу — 23 августа 1962 г.

молекулы распадаются и выделяют ионизованные молекулы CO и $N_2$, спектр которых мы видим. На эти молекулы воздействует «солнечный ветер» — корпускулярный поток из Солнца. Резкие усиления «солнечного ветра» должны производить скачки в сообщаемом им ускорении и могут повышать выделение «родительских» молекул, вызывать вспышки яркости комет. Что касается причины ионизации молекул в кометах, то она еще не ясна.

Струйки в хвостах I типа, по мысли шведского ученого Альвена, могут возникать вследствие распространения в них волн особого типа, открытых им в лаборатории. Эти магнитогидродинамические волны подобны колебаниям упругой нити и представляют собой колебания кометной плазмы вместе с «вмороженными» в них силовыми линиями магнитного поля. «Вмороженность» состоит в том, что газ может двигаться только вдоль силовых линий, а последние перемещаются только вместе с газом.

### СТОЛКНОВЕНИЕ ЗЕМЛИ С КОМЕТОЙ

Столкновения Земли с кометой — вот чего стали бояться люди, перестав видеть в кометах предвестниц войн. Но говорить о столкновении Земли с кометой — это примерно то же, что говорить о случайном падении в Московской области неуправляемого аэростата, если этот аэростат оторвался с привязи где-нибудь в Казахстане. Крайне сомнительно уже то, чтобы аэростат принесло ветрами именно в Московскую область. Еще более сомнительно, чтобы аэростат упал в центр какого-нибудь города. Ведь в этом случае вероятность попадания аэростата в поле, лес или в город пропорциональна площадям, которые на Земле занимают поля, леса и города.

Если говорить о столкновении Земли с твердым ядром кометы, то одно такое ядро, приблизившись к Солнцу на расстояние Земли от Солнца, имеет один шанс из 400 000 000 столкнуться с Землей.

Поскольку в год на этом расстоянии от Солнца проходит около пяти комет в среднем, то ядро какой-

либо кометы может столкнуться с Землей в среднем один раз за 80 000 000 лет. Вот какова вероятность столкновения! Она равна вероятности того, что из 80 миллионов белых шаров, среди которых есть один черный шар, беря ежегодно по одному, вы вынете в данном году именно черный шар.

Столкновение с головой или с хвостом кометы может происходить, конечно, чаще, и даже гораздо чаще. Но что в этом случае может быть? На эту тему было написано много увлекательных романов.

Некоторые представляют себе столкновение Земли с хвостом кометы, как нечто подобное тому, что получится, если крокодил заденет своим хвостом куриное яйцо. В свете того, что было только что рассказано о хвостах комет, этого опасаться не приходится. Ни сдвинуть Землю с ее пути, ни даже изуродовать ее кометный хвост не сможет. Но не можем ли мы отравиться ядовитыми газами — цианом или окисью углерода, имеющимися в комете?

Зная ничтожно малую, почти неосуществимую искусственно в лаборатории плотность комет, мы убеждены, что примесь кометных газов к нашему воздуху будет совершенно неощутима. Вероятно, ее даже не удастся обнаружить современными методами химии. В голове или в хвосте кометы при большой скорости движения небесных тел Земля может пробыть не дольше нескольких часов. Кометные газы ничтожной плотности примешиваются только к наиболее высоким слоям земной атмосферы. Буквально лишь немногие молекулы сумеют за долгий срок, быть может, за годы, добраться до нижних слоев воздуха. К тому же еще вопрос, уцелеют ли они на таком пути, испытывая множество столкновений и химических соединений с молекулами воздуха?

Насколько можно судить по вычислениям, Земля в свое время пересекла хвост кометы 1861 II. Комета Галлея 19 мая 1910 г. была на расстоянии 24 миллионов *км* от Земли, между нами и Солнцем. Хвост же кометы в эти дни тянулся на 30 миллионов *км* и, повидимому, коснулся Земли 19 мая. В этот период не только не произошло ничего особенного, но даже точ-

нейшие химические анализы, как и в 1861 г., не обнаружили никакой примеси посторонних газов в воздухе.

Таким образом, «столкновение» Земли с хвостом кометы, содержащим угарный газ, гораздо безопаснее для всей Земли, чем преждевременное закрытие вьюшки у одной печки с непрогоревшими углями. Даже досадно, что и редкая встреча с кометой не

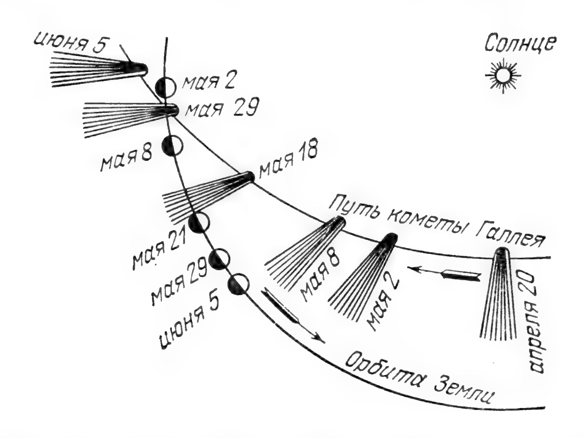



Рис. 85. 19 мая 1910 г. хвост кометы Галлея коснулся Земли.

позволяет нам непосредственно заняться химией комет!

Но что будет, если с Землей все-таки столкнется ядро кометы? Оно ведь твердое!

Масса кометных ядер, как мы знаем, ничтожно мала в сравнении с Землей. Исследования автора этой книги показали еще 30 лет назад, что, на наше счастье, твердое вещество в ядре, если оно сплошь каменное, то раздроблено на множество кусков, так что, вероятно, даже самые крупные из них будут размером не больше, чем какая-нибудь «избушка на курьих ножках». Если принять, что ядро состоит из смеси льда и пыли, то при полете сквозь атмосферу лед сразу испарится, а пылинки принесут еще

меньше вреда, чем при гипотезе о ядре, состоящем из небольших каменных кусков.

Большинство же таких кусочков, составляющих ядро кометы, должно быть еще мельче, иначе поверхность ядра была бы недостаточна, чтобы выделять газы с той скоростью, как это наблюдается. Для крупного зверя заряд мелкой дроби безопаснее одной крупнокалиберной пули. Так и для Земли дробное строение кометных ядер предпочтительнее при встрече с ними. К тому же сопротивление атмосферы сильнее затормозит движение мелких твердых кусков, чем крупных, и ослабит их ударную силу. Куски эти при падении на Землю рассредоточатся и выпадут на расстоянии десятков километров или даже сотен километров друг от друга, а не кучей.

Что же может произойти в результате? В худшем случае легкие местные землетрясения и разрушения на отдельных площадях размером в несколько километров.

В главе «Небесные камни и пыль» мы узна́ем подробности о падении в Сибири в 1908 г. гигантского тела, которое взорвалось в атмосфере, и его остатков практически не нашли. Академик В. Г. Фесенков считает, что это и было столкновение Земли с ядром небольшой кометы. Если он прав, то такое столкновение может быть ощутимо на площади всего лишь в несколько километров или десятков километров в диаметре. С другой стороны, из следующей главы мы узна́ем, что ядро кометы в конце концов распадается на облако мельчайших частиц. Облако в тысячи раз больше Земли, а частица от частицы в нем крайне далеки. Если Земля встретится с таким облаком, то, скорее всего, кроме волны взрыва, произойдет оседание на Землю микроскопических пылинок.

Вроятность попадания осколков кометного ядра в какой-либо город очень мала. Чтобы убедиться в этом, попробуйте мысленно пройти по компасу все в одном и том же направлении тысячу километров и подсчитайте, через сколько городов вы пройдете при этом на своем пути, какую часть этого пути вы пройдете по мостовой...



Марс по рисунку Антониади. На красноватом фоне марсианских «материков» четко выявляются зеленовато-коричневые пятна «морей».



Цветные зарисовки самых крупных планет Солнечной системы — Юпитера и Сатурна.

## ГДЕ РОДИЛИСЬ КОМЕТЫ И РОЖДАЮТСЯ ЛИ ОНИ СЕЙЧАС?

Вопрос о происхождении комет очень сложен. Наших фактических данных о них весьма недостаточно для его решения. Но ученым, как и всем людям, хочется поскорее узнать о том, что́ так интересно, хотя бы оно и было еще мало изучено. Поэтому строятся разные гипотезы о происхождении комет; эти гипотезы меняются по мере их обсуждения и появления новых данных. Поэтому и мнения существуют различные.

Взять хотя бы открытие астероидов с вытянутыми орбитами, такими же, как орбиты некоторых периодических комет. Эти мелкие астероиды по виду отличаются от таких комет только отсутствием вокруг них туманной оболочки. Таковы астероиды Гидальго, Гермес, Адонис, Аполлон, Икар. В то же время и у некоторых короткопериодических комет, например, у комет Швассмана — Вахмана и Отерма орбиты более близки к окружности, к которой приближаются орбиты большинства планет, чем у названных астероидов. К тому же у некоторых комет туманные оболочки едва видимы. Поэтому еще недавно можно было думать об общем происхождении астероидов и периодических комет, быть может, вследствие дробления астероидов при столкновениях, при которых орбиты осколков меняются. Можно было даже допустить, что астероиды, вроде Гидальго,— это ядра комет, утративших свою газовую оболочку. Однако известные теперь данные о природе и структуре кометных ядер не позволяют считать их каменными, монолитными осколками, и это является затруднением для такой гипотезы.

Советский астроном С. К. Всехсвятский много лет назад нашел убедительные признаки того, что периодические кометы быстро теряют свою яркость, истощаются и перестают наблюдаться. Мы видели примеры и распада комет с их последующим превращением в метеорный поток. Между тем периодические кометы продолжают открываться вновь. Если число

их за время существования Солнечной системы не сошло на нет, значит, их состав пополняется рождением новых комет. Но где и как?

С. К. Всехсвятский защищает гипотезу о том, что кометы возникают даже в настоящее время путем выбросов при вулканических извержениях на планетах или их спутниках.

Для того чтобы оторваться от планет-гигантов, а тем более преодолеть сопротивление их атмосферы, выбросы должны приобрести огромные скорости, их энергия должна быть неправдоподобно велика. В то же время и масса совокупности комет должна быть чуть ли не больше массы планет, а тем более их спутников. Поэтому такая гипотеза не имеет многих сторонников.

Неутомимый энтузиаст С. К. Всехсвятский создал в СССР (впервые в мире) специальную обсерваторию под Киевом для изучения комет. Он организовал также систематическое наблюдение в Советском Союзе всех появляющихся комет и посылает для этого экспедиции своих учеников во все концы Союза. Плоды этих работ ускорят наше лучшее понимание природы и происхождения комет.

Популярностью пользуется гипотеза Оорта (Голландия). Он допускает, что подобно астероидам кометы образуют кольцо далеко за пределами орбиты Плутона. Быть может,— думает он,— вначале это были малые конденсации, возникшие при образовании планет и выброшенные возмущением последних во внешние области. Теперь же, под действием возмущений со стороны ближайших звезд, некоторые из них по временам вталкиваются обратно и становятся видимыми.

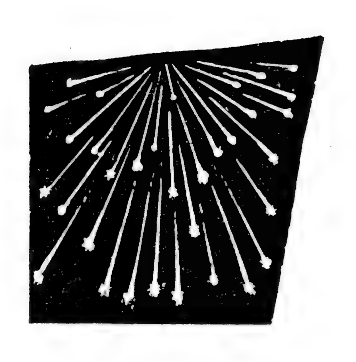
В. А. Крат (Пулковская обсерватория) в своей гипотезе предполагает, что малые плотные тела за Нептуном не могли объединиться в планеты (как, по его мнению, ближе к Солнцу их объединение создавало планеты). Возмущения этих малых тел, как взаимные, так и со стороны звезд и планет, выводят их из этой далекой зоны во внутреннюю, близкую к Солнцу.

В этих представлениях о кометном облаке-кольце у границы Солнечной системы не ясно, почему такие малые тела столь богаты газами. Вопросы космогонии очень сложны и только комплексными усилиями разных наук они смогут быть решены.

Во всяком случае, изучение комет, «зловредность» которых наука опровергла, в Советском Союзе стоит высоко. Труды одного из крупнейших ученых мира Ф. А. Бредихина составили в этой области целую эпоху, а советские ученые продолжают изучение комет на основе позднейших открытий и представлений физики.



Г Л А В А 4



# ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ И ЗВЕЗДНЫЕ ДОЖДИ

## ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ И КАМНИ С НЕБА

Когда катится по небу звездочка, оставляя в темном небе светлый след, то иные суеверные люди говорят: вот закатилась чья-то жизнь. Эти люди считают, что у каждого человека есть своя звезда на небе, что у счастливого человека и звезда яркая, а у кого звезда тусклая, у того и жизнь серая. Потому же они думают, что раз закатилась звезда, значит закатилась и жизнь.

Будь так, в дни больших сражений, когда тысячи людей расстаются с жизнью на поле боя, небо осыпалось бы звездами, как деревья пожелтевшими листьями в ветреный осенний день. И если бы это действительно звезды катились с неба, то уже давным-давно не осталось бы на нем ни одной звезды, так как на всем видимом полушарии неба самый зоркий глаз насчитывает не более 3000 звезд, между тем и без войны на земном шаре ежегодно умирает гораздо больше людей.

Много разных догадок и предположений высказывалось о природе падающих звезд, но уже более ста лет твердо установлено, что падающие звезды, называемые иначе метеорами, это не более как мелкие камешки размером с зернышко и меньше, влетающие из межпланетного пространства в нашу атмосферу и обращающиеся в ней в раскаленный пар.

Чем же доказать, что это так, что это не простое предположение? — спросят, вероятно, скептические читатели.

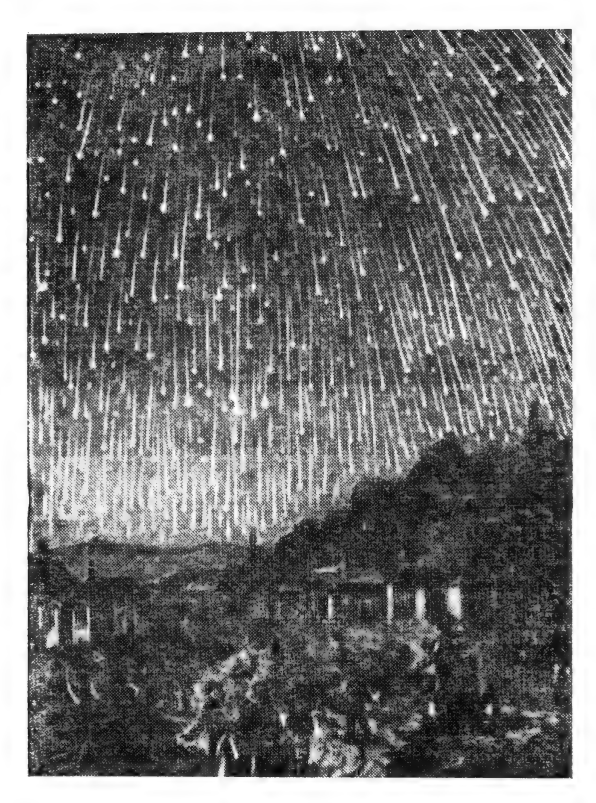


Рис. 86. Дождь падающих звезд (Леонид), наблюдавший в ноябре 1866 г. (по рисунку очевидца).

В IV веке до н. э. греческий философ и ученый Аристотель считал метеоры земными испарениями, и за последующие две тысячи лет никому не приходило в голову, как можно было бы проверить это предположение, ничем, впрочем, тогда не обоснованное.

Только в 1798 г. немецкие студенты Брандес и Бенценберг догадались, что природа падающих звезд стала бы для нас гораздо яснее, если бы удалось определить расстояние до них, и придумали способ, как это сделать, воспользовавшись уже знакомой нам идеей параллактического смещения.

Если падающая звезда (метеор) летит не очень далеко от наблюдателя, то ее путь на фоне звездного неба покажется различным, в зависимости от того, откуда наблюдатель на нее смотрит. Два наблюдателя, находящиеся на расстоянии 30—40 *км* друг от друга, будут видеть метеор в проекции на небесный свод в различных местах. Различие в *видимом* пути метеора будет для них тем меньше, чем дальше от них метеор. Точно так же бьющая струя фонтана проектируется на разные деревья, которыми обсажена площадка с фонтаном, если на него смотрят двое спутников, стоящие немного поодаль друг от друга. Уходя со своим спутником (или со спутницей, если это вам больше нравится) от фонтана, бросьте взгляд на него *издали*; вы оба увидите тогда его искрящуюся струю на фоне одного и того же дерева.

Наблюдателям нужно было лишь убедиться, что они видят и зарисовывают на звездной карте путь одного и того же метеора, а в этом им помогли часы и описание яркости, а также цвета метеора. Если они оба видели, например, зеленоватый метеор, светивший, как звезда второй величины, и притом в один и тот же момент, значит, это был один и тот же метеор, а различие в его видимом пути на небе, о чем судят по зарисовке на карте звездного неба,— это параллактическое смещение.

Из этих наблюдений можно определить с помощью тригонометрии расстояние до любой точки метеорного пути (например, точки, где метеор исчез). Не будем утомлять читателя тригонометрией или описывать подробности графического решения задачи, которое тут также возможно. Приведем лишь простейший пример.

На рис. 87 2-й наблюдатель видит метеор (летящий по прямой) вспыхнувшим в точке $a'$ (в проекции

на небесную сферу). Пусть эта точка лежит у него прямо над головой. 1-й наблюдатель, находящийся на 30 *км* в стороне, увидит ту же точку (начало метеора) в точке *a*, которая уже не находится над его головой.

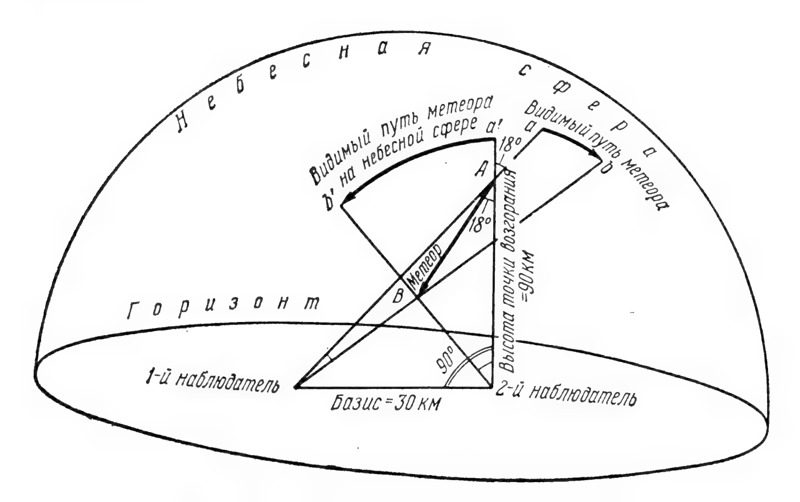



Рис. 87. Определение высоты метеора.

Сравнивая свои зарисовки метеора на звездной карте, наблюдатели видят, что точка *a'* отстоит от точки *a* на 18°. Значит, в этом прямоугольном треугольнике угол при точке *A* равен 18°.

По таблицам тригонометрических функций можно убедиться в том, что если угол равен 18°, то противолежащий ему катет прямоугольного треугольника в три раза меньше прилежащего катета. Если противолежащий катет, т. е. расстояние между наблюдателями, было, скажем, 30 *км*, то, значит, расстояние точки появления метеора от 2-го наблюдателя было 90 *км*.

Так было установлено, что путь метеора над Землей находится на высоте около сотни километров, и притом начало его — выше, а точка исчезновения — ниже.

Хотя явления метеоров протекают в атмосфере (как мы убеждаемся из определения их высот над Землей), но их скорости убеждают нас в том, что они не могут быть земного происхождения. Весь свой путь длиной в 30—40 *км* они пролетают примерно за секунду и даже быстрее. Такую скорость — десятки километров в секунду — может иметь только тело, несущееся в мировом пространстве и вторгшееся в нашу атмосферу извне. В этом нас убеждают и многие другие наблюдения метеоров.

В 1833 г. было замечено, что во время звездного дождя, когда метеоры падали во множестве, все они вылетали из одного и того же созвездия — из созвездия Льва. Так было и вечером, и ночью, и под утро.

Таким образом, то место неба, откуда вылетали метеоры, участвовало в суточном вращении неба, в этом кажущемся движении, вызванном суточным вращением Земли. Значит, по отношению к потоку метеоров, точно так же как и по отношению к звездам, Земля поворачивается, значит, метеоры приходят к нам из межпланетного пространства, они не связаны с Землей, не участвуют в ее вращении.

Метеоры светятся в земной атмосфере, но сами возникают не в ней, а попадают в нее извне, из мирового пространства. Метеоры — это гости нашей планеты, странники в безвоздушном пространстве, но гостят они у нас кратковременнее, чем живут мотыльки в летний день. Влетая со скоростью десятков километров в секунду из безвоздушного пространства в атмосферу, под действием сопротивления атмосферы они накаляются, превращаются в пар и, ярко светясь в течение какой-либо секунды, «растворяются» в воздухе. Такова участь этих мелких камешков, быть может, миллиарды лет носившихся невредимыми в межпланетных просторах и погибших, как мошки, влетевшие в костер, при первом соприкосновении с воздушным покрывалом Земли.

Автор проговаривался уже не раз, что метеоры — это мелкие камешки, влетающие в атмосферу Земли. А уж раз так, то приходится сразу же заявить, что

основанием к этому заключению являются прежде всего случаи падения на Землю «камней с неба».

Среди метеоров наблюдаются иногда чрезвычайно яркие, уже не «падающие звезды», а скорее летящие огненные шары, бывающие видимыми даже днем. Их называют *болидами*. И вот бывает, что в том месте атмосферы, где болид заканчивает свой блистательный полет, возникает темное облачко, а на землю падает камень. Земли достигают только более крупные камни, не успевшие полностью испариться при своем полете сквозь атмосферу. Камни, выпадающие на Землю с неба и называемые метеоритами, встречаются всех размеров, начиная с пылинок и кончая камнями размером с большой шкаф. Американские астрономы Уиппл и Яккиа недавно установили, что типичные твердые кусочки, производящие явление метеоров, имеют рыхлое строение.

То, что метеоры являются камешками, подтверждается фотографиями спектров метеоров, которые за последнее время удалось получить.

## ПОРТРЕТЫ И ПАСПОРТА МЕТЕОРОВ

Первым ученым, занявшимся в начале XX века фотографированием и изучением спектров метеоров, был профессор Московского университета С. Н. Блажко. Тогда еще молодой ученый, он направил на небо небольшую светосильную фотографическую камеру с призмой, установленной перед объективом.

Даже простая фотография метеора — дело довольно редкой удачи, потому что метеор, как быстро движущаяся светящаяся точка, и притом светящаяся довольно слабо, не успевает запечатлеть свой, так сказать, «портрет» на пластинке. При современной чувствительности фотографических пластинок только самые яркие метеоры, те, которые ярче звезд второй величины, оставляют на пластинке свой след в виде тонкой линии. Вспышки при полете метеора отмечаются на фотографии утолщениями этой линии.

Нужно, чтобы такой яркий метеор пролетел как раз в области неба, охватываемой данной фотокаме-

рой. Можно, правда, выбирать для этой цели ночи, когда бывает заведомо много метеоров, и все же редко случается, чтобы через поле зрения камеры пролетел достаточно яркий метеор.

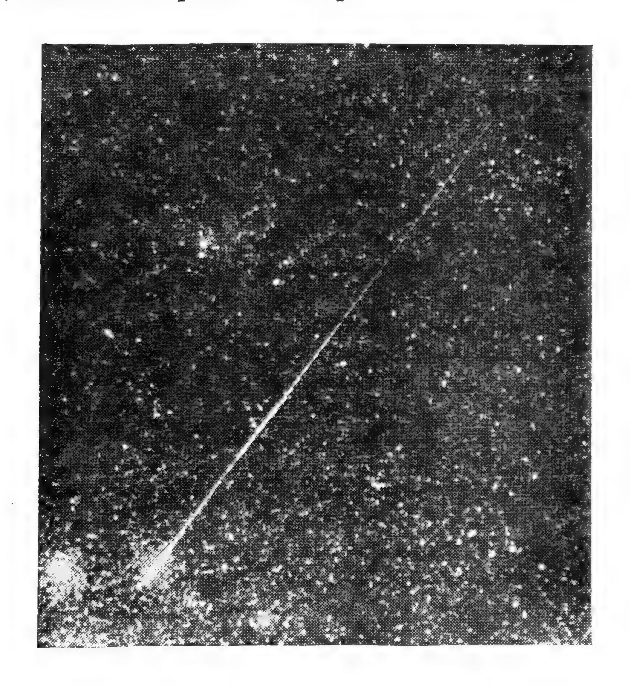


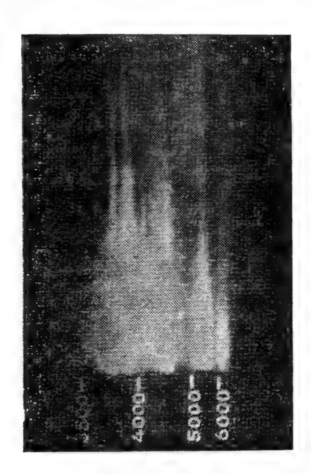
Рис. 88. Фотография яркого метеора. Утолщения следа метеора указывают на повторные вспышки его яркости при полете.

Недаром С. Н. Блажко на вопрос астрономов, желавших фотографировать метеоры: «Каковы, по-вашему, шансы на успех?», неизменно отвечал шуткой: «Это зависит от счастья, а я не знаю, счастливый вы или нет».

Элемент удачи тут, конечно, велик, но надежду на удачу можно увеличить, если фотографировать не одним, а несколькими фотоаппаратами сразу, направив их на разные области неба. Совместными усилиями нескольких фотокамер вероятнее захва-

тить небесного беглеца. Такая батарея фотокамер, почти еженощно стерегущих появление метеоров, установлена, например, на обсерватории в Душанбе.

В среднем один метеор получается за 100 часов экспозиции (конечно, не на одной, а на многих пластинках) в безлунные ночи с обычным (т. е. небольшим) числом падающих звезд, если применяется



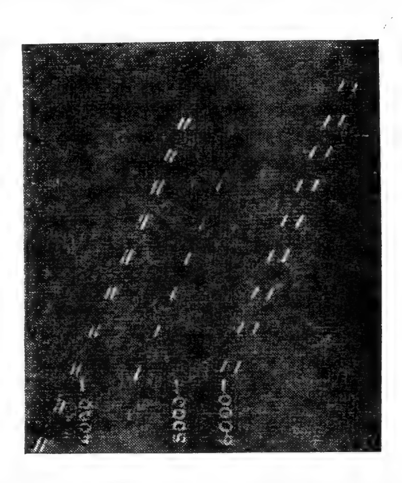




**Рис. 89.** Спектры метеоров: слева — железного, со множеством ярких линий, справа — каменного, в котором пара самых ярких линий (крайние слева) принадлежит ионизованному кальцию. Перерывы наклонных линий спектра на правом снимке вызваны быстрыми закрываниями объектива фотоаппарата специальным вращающимся сектором.

одна камера типа «Турист». В августе, когда много падающих звезд вылетает из созвездия Персея, один сфотографированный метеор приходится в среднем на 5 часов экспозиции.

Нашлось бы у вас терпение фотографировать метеоры? У многих любителей астрономии из Московского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества это терпение нашлось, и они были за него вознаграждены рядом прекрасных и ценных фотографий. Между тем в сравнении с терпением вооружение «ловца метеоров» может быть

очень скромным — один или лучше несколько обычных фотоаппаратов типа «Турист» или «Фотокор» и запас пластинок.

Если перед фотокамерой поставить призму, какая применяется в спектрографах, то вместо фотографии яркого метеора получится фотография его спектра. Ширина спектра будет определяться видимой длиной пути метеора по небу.

Фотографировать спектры метеоров еще труднее или, вернее, требуется еще больше удачи и времени, чем для обычного фотографирования, потому что свет метеора, растянутый в спектр, да еще поглощенный в призме,— гораздо слабее. С. Н. Блажко получил еще в 1908 и 1914 гг. спектры нескольких метеоров и подробно исследовал их. Новые спектры метеоров удалось получить только за последние годы, причем совместными усилиями всех астрономов мира, занявшихся этим делом; к настоящему времени удалось набрать не очень-то много таких спектрограмм.

Что же оказалось? На основании спектров метеоров — как бы их «паспортов» — выяснилось, что одни из них состоят из каменистых веществ, другие — из железа с примесью никеля. Но как раз такими оказываются и метеориты. Некоторые из них — это камни, которые лишь специалист может отличить от обычных земных пород. Другие же состоят из чистого железа с примесью никеля и притом в такой пропорции, которая в самородном железе не встречается. От искусственно выплавленного железа они отличаются необычайно крупной кристаллизацией, о чем, впрочем, мы еще будем говорить. Изредка метеориты попадаются как бы в виде железной губки, поры которой заполнены каменистой массой. Это — железокаменные метеориты.

## ЗВЕЗДНЫЕ ДОЖДИ И ПОТОКИ МЕТЕОРОВ

Мелкие частички,— будем их называть камешками, хотя многие из них железные,— производящие явление метеоров, или падающих звезд, часто несутся большими роями. Между тем более крупные тела

несутся в пространстве и падают на Землю одиночками и во всяком случае не в компании с метеорами. Они как бы не желают знаться с мелочью, и наблюдаемые иногда звездные дожди, целые потоки метеоров, вовсе не сопровождаются учащением падения метеоритов. Это наводит на мысль, что хотя состав метеоров и метеоритов одинаков, но происхождение их может быть различным.

Звездные дожди и ливни отмечались не раз, хотя и редко.

Первый из них, описанный научно, наблюдался в ноябре 1799 г. В ноябре же 1833 г. (12-го числа) подобный дождь метеоров наблюдался ночью по всей Земле. Звезды падали как хлопья снега в зимнюю метель, и зачастую один зритель за секунду замечал до 20 метеоров. Сколько же их падало по всему небу, которое не мог видеть сразу один наблюдатель! Впрочем, такие подсчеты делались не раз. Один наблюдатель, более или менее зоркий, может уследить за площадью неба диаметром около 60 градусов. Так как метеоры светятся на высоте порядка 80 *км* над Землей, то обозреваемая нашим наблюдателем на этой высоте площадь атмосферы составляет около 5000 *км*$^2$. Но ведь поверхность всей атмосферы в 100 000 раз больше. В среднюю безлунную ночь, когда нет метеорного дождя, наблюдатель замечает за час на своем участке неба около десятка метеоров, следовательно, за сутки над всей Землей в атмосфере можно было бы насчитать 24 миллиона метеоров.

В ноябрьскую ночь 1833 г. вместо 10 насчитывалось около 70 000 метеоров за час. Значит, в эту ночь на Землю обрушились сотни миллиардов метеоров! А сколько же их пролетело мимо Земли?! Этого уж никто точно не знает, потому что крошечные камешки, несущиеся мимо Земли, совершенно невидимы, они не светятся. Можно только сказать, что число камешков, пронесшихся мимо, вероятно, во столько же раз больше числа попавших в земную атмосферу и прочертивших огненный след, во сколько раз число дождевых капель в сильном ливне

больше того, которое упало на шляпу какого-либо несчастного, попавшего под этот дождь.

Из особенно крупных звездных дождей последний произошел 9 октября 1933 г., когда ежеминутно

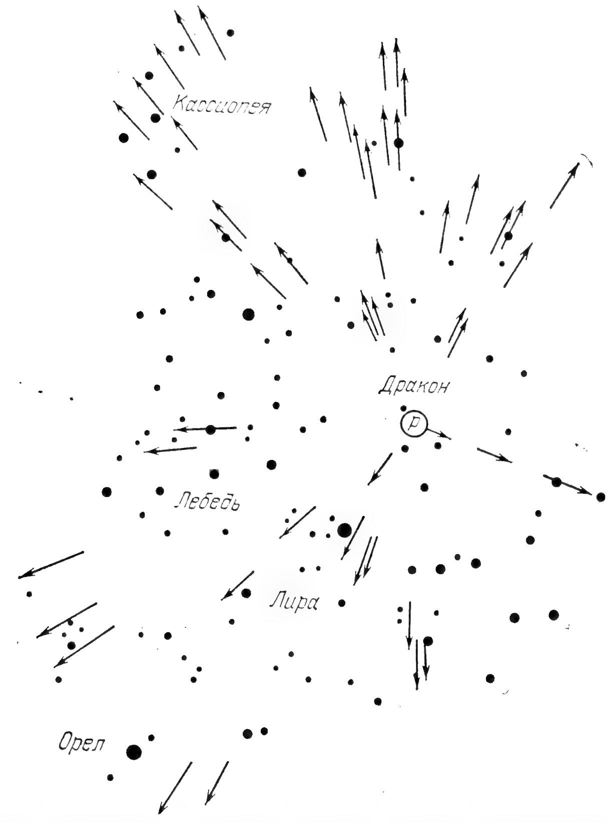



Рис. 90. Нанесенные на карту звездного неба пути метеоров, принадлежащие к одному радианту. Место радианта отмечено буквой $P$.

появлялось до 350 метеоров, летевших из созвездия Дракона. Впрочем, метеоры эти были неяркие и, начав появляться с вечера на ночном небе Европы, к полуночи они совсем прекратились, так что, когда

ночь перекочевала в Америку, там этого прекрасного зрелища не было и в помине. Рой камешков, налетевших на Землю, пронесся мимо нее, очевидно, быстрее, чем Земля успела сделать четверть оборота вокруг своей оси.

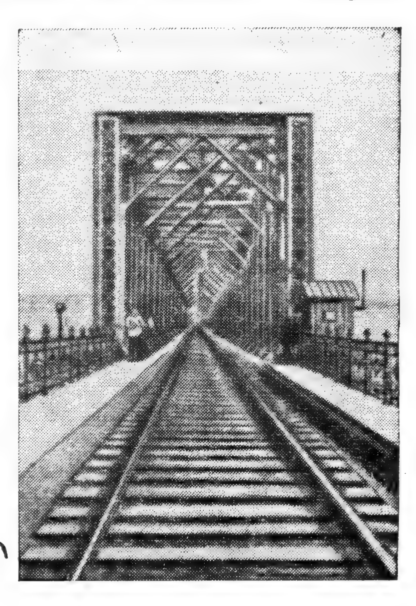


Рис. 91. Параллельные линии железнодорожных рельсов и контуров моста в перспективе сходятся, подобно путям метеоров, продолженным назад, и образуют центр перспективы, или радиант.

В определенные дни ежегодно можно видеть усиленное падение метеоров, хотя его и нельзя назвать звездным дождем. Так, например, ежегодно 9—14 августа метеоры в большом количестве вылетают из созвездия Персея, 19—22 апреля — из созвездия Лиры, 9—12 декабря — из созвездия Близнецов и т. д.

Центр того места, от которого во все стороны, как стрелы, летят метеоры, называется *радиантом*. Метеоры, радиант которых находится в созвездии Персея, называются Персеидами, те у которых радиант в Лире,— Лиридами и т. д.

Нетрудно понять, что схождение в одном месте — в радианте — метеорных путей, продолженных назад, есть явление кажущееся, перспективное. В самом деле, метеоры в конце своего пути приближаются к нам и потому кажутся расходящимися удаляющимися друг от друга. Начало их видимого пути находится выше в атмосфере, дальше от нас, и на большом расстоянии пути их кажутся сближенными. Вы видели не раз, как сближаются вдали и сливаются вследствие перспективы железнодорожные или трам-

вайные рельсы, в действительности параллельные друг другу. Пути метеоров в пространстве также параллельны друг другу. Параллельно летящие частицы, составляющие поток, врезаясь в воздух, начинают светиться и по мере приближения к наблюдателю кажутся все дальше уходящими от той точки (радианта), от которой они к нам движутся.

Ежедневно Земля встречает отдельные метеорные частички и «еженощно» бывают видны отдельные метеоры, которые ни к какому метеорному потоку нельзя отнести. Их называют спорадическими метеорами. По сравнению с метеорами потоков это как бы заблудившиеся экскурсанты или солдаты, отставшие от своих колонн.

Можно подсчитать расстояния между частичками метеорного роя, наблюдая число падающих звезд, появляющихся за час на определенной площади земной атмосферы, и зная скорость движения частиц. Оказывается, что метеоры летят в пространстве не очень тесным роем. Например, в потоке Персеид на каждую частичку приходится объем в 10 миллионов кубических километров! Частичка от частички отстоит в среднем на две с лишним сотни километров! Встретясь с ними за пределами Земли, например, пролетая в воображаемом корабле межпанетных сообщений, мы и не подозревали бы, какой волшебный небесный фейерверк они могут произвести для наблюдателя на Земле.

## ПОДРОБНЕЕ О МЕТЕОРАХ

Метеоры и метеориты чрезвычайно занимательны с нескольких точек зрения и вполне стоят того, чтобы уделить им побольше внимания.

Во-первых, метеориты — это единственные небесные тела, которые попадают в наши руки. Лишь их состав и строение мы можем изучать непосредственно, можем трогать, измерять, дробить, анализировать, изучать так же, как мы изучаем все земные предметы. Остальные небесные тела мы изучаем косвенными путями, наблюдая их видимые положения и

движения, анализируя их свет. Результаты такого изучения для неспециалиста часто кажутся недостоверными и потому не вполне его удовлетворяют, хотя в действительности многие из этих данных гораздо достовернее, чем, скажем, наши представления о некоторых частях поверхности нашей собственной планеты, например об арктических областях или о дебрях Центральной Африки. Во всяком случае, не напрасно создалось выражение: «недосягаемы, как звезды на небе», а если и говорят, что кто-то там «хватает звезды с неба», то приводят это как описание невероятного успеха. Между тем, если и не настоящие звезды, то хотя бы падающие звезды с неба (по крайней мере, метеориты) некоторым людям буквально удается «хватать».

Другое обстоятельство, благодаря которому метеоры и метеориты привлекают наше внимание,— это то, что они тесно связаны с рядом других небесных образований: с кометами, астероидами, с зодиакальным светом и с солнечной короной, с так называемыми темными туманностями в межзвездном пространстве, а также с образованием рельефа поверхности некоторых небесных тел, включая отчасти и нашу Землю.

Эти камешки — частично обломки каких-то небесных тел, погибших при катастрофе, частично — это те «кирпичи», из которых сложились разные небесные тела и, быть может, даже наша Земля.

Наконец, изучение метеоров и метеоритов мы можем рассматривать как средство для изучения высоких слоев земной атмосферы, которые так интересуют и ученых, и самолетостроителей, и радистов, и даже артиллеристов, но которые до недавнего времени были недоступны для непосредственного изучения. Последний вопрос мы рассмотрим позднее, а пока займемся метеорами как небесными телами, хотя и мельчайшими из тех, которым можно присвоить этот громкий титул.

Что же нас интересует при изучении метеоров, что подлежит определению из наблюдений?

Высота точек появления и исчезновения метеоров над земной поверхностью, скорость их движения

и ее изменения, зависимость этих величин от яркости метеоров и их связь друг с другом, число метеоров в разные часы суток и в течение года, распределение их по яркости и по величине, их путь в пространстве до встречи с Землей...

Один из крупнейших советских «ловцов» падающих звезд И. С. Астапович зарегистрировал за 15 лет своей работы около 40 000 метеоров.

Наблюдать метеоры с пользой для науки может каждый, потому что большинство наблюдений метеоров производится невооруженным глазом и не требует никаких особых заний. Даже и инструменты для наблюдения метеоров в большинстве случаев могут быть так просты и скромны, что располагать ими может каждый любитель науки о небе.

Выдающуюся роль в науке о метеорах сыграли любители астрономии, такие, как Деннинг в Англии. В СССР целая организация любителей астрономии в составе Всесоюзного астрономо-геодезического общества занимается наблюдением метеоров. Эта организация играет большую роль в развитии наших знаний о метеорах и располагает обширным архивом наблюдений. Такие организации есть и за рубежом. Метеоры стали теперь изучать и в обсерваториях, особенно интенсивно в Чехословакии, в США, у нас — в Душанбе, Ашхабаде и Одессе, а радиометодами — в Англии.

Уже говорилось о том, каким способом (методом засечки) определяется высота над Землей разных точек метеорного пути. Два наблюдателя, разделенных расстоянием в 30—40 *км*, одновременно следят за одной и той же областью неба и зарисовывают на карту звездного неба пути метеоров. Сличая потом свои зарисовки и отождествляя общие для обоих наблюдателей метеоры по моменту наблюдения, их яркости, цвету и примерному расположению, они измеряют перспективный (параллактический) сдвиг пути метеора, как его видел один наблюдатель, по сравнению с тем, как этот путь видел другой.

Конец пути, более близкий к наблюдателю, смещается больше, чем начало пути. Зная высоту на-

чала и конца пути метеора в атмосфере и проекцию пути на поверхность Земли, нетрудно установить его истинную длину. Оценивая продолжительность полета метеора в земной атмосфере и деля на нее длину пути, получают его *среднюю* скорость, поскольку действительная скорость движения метеора в атмосфере непостоянна: она меняется из-за тормозящего действия сопротивления воздуха.

Скорость метеора в атмосфере интересует нас прежде всего потому, что знание ее решает вопрос о том, откуда приходят к нам метеоры — из межпланетного или из межзвездного пространства.

Мы знаем, что скорость движения Земли по ее почти круговой орбите около Солнца составляет 30 *км/сек*. Теория тяготения говорит, что тело, движущееся на расстоянии Земли от Солнца со скоростью, не превышающей по отношению к Солнцу $30 \cdot \sqrt{2}$ *км/сек*, т. е. не превышающей 42 *км/сек*, не может преодолеть тяготения к Солнцу. Оно движется тогда по эллипсу, периодически возвращаясь к Солнцу, и является, таким образом, членом Солнечной системы.

При скорости, хотя бы чуть большей чем 42 *км/сек*, всякое тело лишь искривит свой первоначальный путь под действием тяготения к Солнцу, но не замкнет его и, обогнув Солнце по гиперболе, навсегда уйдет из области его притяжения. В этом случае и приближается оно к Солнцу по гиперболе, т. е. в первый и в последний раз появляется в нашей Солнечной системе, придя, очевидно, из межзвездного пространства, где тяготение к нашему Солнцу слабее, чем тяготение к другим звездам.

Движение по параболе при скорости 42 *км/сек* является пограничным между движениями по эллипсу и по гиперболе и практически невозможно. Если такая скорость случайно и возникла бы, то немедленно притяжение планет хотя бы немного увеличило ее или уменьшило, превратив тотчас же параболическую орбиту, по которой тело вознамерилось двигаться, в орбиту эллиптическую или в гиперболическую.

Не подумайте, пожалуйста, что 42 *км/сек* — это какое-то абсолютно роковое число. По теории тяготения на всяком расстоянии от Солнца есть скорость $V_0$, при которой движение тела должно быть круговым; это движение будет эллиптическим — при скорости, большей чем $V_0$, но меньшей чем скорость, равная $V_0\sqrt{2}$, и гиперболическим — при скорости, хотя бы ничтожно большей, чем $V_0\sqrt{2}$. В случае же скорости, меньшей чем $V_0$ на данном расстоянии от Солнца, тело упадет на него по кривой линии. Тело будет падать на Солнце по прямой, если его скорость равна нулю, т. е. если телу, неподвижному относительно Солнца, предоставлено падать на него столь же свободно, как зернышку на пашню.

Мы наблюдаем метеоры только вблизи самой Земли, и потому для наблюдаемых метеоров число 42 *км/сек* действительно является как бы «роковым». К сожалению, простые зарисовки пути метеоров вследствие трудности запомнить точно путь метеора, в особенности его начало, из-за внезапности его появления и из-за скоротечности явления не дают желаемой точности и ведут к преувеличению оценки скорости движения.

Большую точность дает фотографирование метеора двумя фотокамерами, отстоящими друг от друга на несколько километров. При этом, однако, перед объективами камер надо поставить сектор, быстро вращаемый электромотором, так что в течение секунды объективы камер несколько раз закроются этим сектором, и экспозиция несколько раз прервется.

В результате след метеора на фотопластинке получается с перерывами, промежутки между которыми равны по времени, но не равны по длине. В этом случае ясно видно, что в начале своего пути метеор летел быстрее, а к концу медленнее. Этим выявляется тормозящее действие атмосферы. Высота определяется так же, как и при наблюдениях глазом,— по смещению пути метеора на фоне звезд, зафиксированных на обеих фотографиях.

К несчастью, получить такие парные фотографии метеоров удается, конечно, еще реже, чем в случае обычного фотографирования.

Что касается яркости метеоров, то при наблюдениях глазом она оценивается по сравнению со звездами и говорят о метеорах первой звездной величины, второй величины и т. д.

Анализ наблюдений показывает, что чем ярче метеор, тем глубже в атмосферу он проникает, но высота точки его возгорания почти не зависит от его яркости. Подавляющее большинство метеоров начинает светиться на высоте 100—120 *км* и гаснет на высоте 80—85 *км*. Выяснилось, что на этой высоте в атмосфере существует особый слой, где плотность воздуха быстро повышается. Этот слой — невидимая воздушная преграда — разрушает остаток достигшего ее метеора. Большинство небесных гостей гибнет у этой «стены», натолкнувшись на нее.

Легко понять, что при данной скорости полета, определяющей силу сопротивления воздуха, а следовательно, и быстроту испарения метеора (а с ней и его яркость) метеор будет тем ярче, чем больше его масса. Только более массивные и медленные метеоры пробивают «броню» на высоте около 80 *км* и проникают ниже, разрушаясь нацело, на высоте 30—40 *км*. Этой высоты достигают болиды, полет которых сопровождается звуком, зачастую напоминающим шипение. Наконец, метеориты, выпадающие на Землю, обычно перестают светиться на высоте около 22 *км* и падают с нее на Землю как темные, несветящиеся тела с обычной скоростью падающих тел. В этом месте запас их космической скорости обычно иссякает.

С другой стороны, чем больше скорость метеоров при их врезывании в атмосферу, тем больше высота, на которой начинается их свечение и разрушение. При больших скоростях сопротивление воздуха растет пропорционально квадрату скорости, а может быть, и быстрее. Поэтому метеор со скоростью 20 *км/сек* светится на высоте около 60 *км*, а со скоростью 70 *км/сек* — на высоте около 100 *км*.

Для изучения земной атмосферы и свечения метеора интересна его скорость по отношению к Земле, о которой тут идет речь. Для изучения же происхождения метеоров нужно знать их скорость относительно Солнца. Скорость их относительно Земли складывается из их скорости относительно Солнца и из скорости движения Земли. Например, метеор, летящий прямо навстречу Земле со скоростью 40 *км/сек*, вонзится в нашу атмосферу со скоростью 70 *км/сек*, потому что Земля сама делает по 30 *км/сек* ему навстречу. Такой же метеор в погоне за Землей подлетит к ней со скоростью всего лишь 40—30 = = 10 *км/сек*, но притяжение Земли немного увеличит эту скорость.

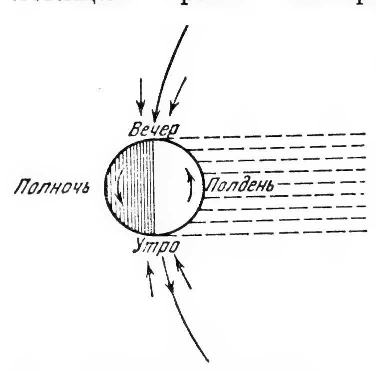



Рис. 92. Метеоры налетают «в лоб» на «утреннюю» сторону Земли и догоняют ее «вечернюю» сторону.

Так как для любого момента величина и направление скорости движения Земли известны, то из наблюденной скорости метеора всегда можно вычесть скорость Земли и получить его скорость относительно Солнца. При таком расчете надо учитывать угол между скоростями и изменение пути и скорости движения метеора под влиянием притяжения Земли.

Фотографирование с вращающимся сектором перед объективом фотокамеры определенно говорит, что скорости метеоров явно эллиптические, т. е. что метеоры являются постоянными членами Солнечной системы. Три таких метеора оказались обращающимися вокруг Солнца (конечно, до их гибели в земной атмосфере) в среднем с периодом около 4 лет по орбите с большой полуосью в $2^1/_2$ астрономические единицы, с эксцентриситетом того же порядка, что у периодических комет и у некоторых астероидов (0,7) и притом почти что в плоскости эклиптики.

Скорость в 42 *км/сек* на расстоянии Земли от Солнца — это уже скорость чуждого нам тела, движущегося по параболе. Скорость же 41 *км/сек* (всего на 2—3% отличающаяся от критической) уже соответствует периоду обращения лишь в 27 лет по орбите, всего в девять раз большей, чем орбита Земли.

Итак, в данном случае малейшая ошибка в определении скоростей метеоров (а их трудно определить!) ведет к совершенно новому заключению об их месте в Солнечной системе.

За последнее время скорости движения тысяч метеоров вне Земли были определены при помощи совершенно нового метода. Наблюдалось отражение радиоволн от тех следов, которые оставляют за собой метеоры. Много наблюдений метеоров радиометодами выполнено на английской станции Джодрелл Бэнк и на советской обсерватории в Душанбе. Из этих очень точных наблюдений выяснилось, что практически все метеоры движутся по эллиптическим орбитам и являются членами Солнечной системы, и, быть может, лишь единичные метеоры приходят к нам извне, как редкие гости. Так вопрос о природе метеоров решен окончательно.

Теория свечения метеоров приводит к следующим данным о массах метеоров. Масса очень яркого метеора нулевой звездной величины, если его скорость в атмосфере 55 *км/сек*, составляет 0,25 *г*. Это равно весу нескольких капель воды. Масса метеора пятой величины, едва приметного для глаза,— несколько тысячных грамма.

Так как, изучая метеоры, можно оценить их массы, то и их размеры не являются для нас тайной. Обычный яркий метеор до своего разрушения в атмосфере имеет размер кедрового орешка, а слабые метеоры, видимые только в телескоп,— размеры небольшой булавочной головки (данные о массах и размерах метеоров приблизительны). Как далеко не похожи такие тела на настоящие звезды, от которых несведущие люди отличают их только эпитетом «падающие»!

Быть может, возникает сомнение в том, как же такие крошки могут быть нами видимы на расстоянии порядка сотни километров? Но ведь видимая нами падающая звезда — не эта твердая частичка! Это необычайно ярко светящийся раскаленный пар, в который она превращается в атмосфере, пар, создающий вокруг летящей частички газовую атмосферу довольно значительного размера. Стоит также вспомнить, что нить электролампочки благодаря ее яркости видна с огромного расстояния, хотя ее толщина — сотые доли миллиметра; между тем газы, в которые обратился метеор, раскалены еще сильнее.

Поэтому не удивительно, что яркий метеор, видимый с расстояния сотни километров как звезда 2-й величины, имеет действительную силу света в 3360 стандартных (международных) свечей.

Мельчайшие космические пылинки, оседающие на Землю,— это жалкие остатки довольно значительных камешков, бóльшая часть которых испарилась за время их полета.

## ПЕРЕПИСЬ МЕТЕОРОВ

Если есть люди, почитающие за невозможное сосчитать звезды, видимые на небе простым глазом, то тем более безнадежной должна им казаться попытка сосчитать падающие звезды, да еще видимые на всей Земле, да еще в течение года. Между тем они подсчитаны, хотя, конечно, и не поштучно. Действительно, ведь когда мы хотим знать число деревьев строевого леса на участке, то для нас неважно пропустить в счете сотню-другую деревьев, и мы бываем вполне удовлетворены, узнав, что таких деревьев, скажем, около 10 000, а не около 3000 или 170 000. Мало того, наше любопытство будет частично удовлетворено, когда мы узнаем только приблизительно какое-либо число, если до этого не имели никакого о нем представления. Например, любопытно, хотя едва ли важно, знать, что в среднем у человека, еще не признанного лысым, на голове волос около 200 000, если до этого мы могли лишь

гадать, сколько их, несколько тысяч или же миллионы. Наше представление об этом мало изменится, если при таком подсчете мы ошибемся на тысячу-другую волос, или даже в несколько раз больше.

Именно так, подсчитывая число метеоров разной видимой яркости в разные часы одних и тех же суток и повторяя это по нескольку раз в год, можно оценить, сколько же их падает за год. Знание этого числа удовлетворит уже не простое любопытство, а даст нам гораздо больше, в частности, может ответить на вопрос, насколько же за счет метеоров увеличивается масса Земли и какую роль их вещество может играть в составе обрабатываемой нами почвы. Вдруг окажется, что картофель на вашем огороде растет в слое, образованном вековыми напластованиями разрушившихся метеоров!

При подсчете метеоров надо учесть процент метеоров, не замеченных наблюдателем, сопоставляя одновременные наблюдения нескольких лиц, долю площади атмосферы, обозреваемой им, и метеоры, видимые лишь в телескоп.

Результаты такого подсчета приведены в нижеследующей таблице, из которой, между прочим,

**Число и масса метеоров, ежедневно сталкивающихся с Землей**

| Видимая звездная величина | Число метеоров | Масса метеора в *мг* | Масса всех метеоров данной величины в *т* |
|---|---|---|---|
| —3 | 28 000 | 4600 | 0,11 |
| —2 | 71 000 | 1600 | 0,11 |
| —1 | 180 000 | 630 | 0,11 |
| 0 | 450 000 | 250 | 0,11 |
| 1 | 1 100 000 | 100 | 0,11 |
| 2 | 2 800 000 | 40 | 0,11 |
| 3 | 7 100 000 | 16 | 0,11 |
| 4 | 18 000 000 | 6,3 | 0,11 |
| 5 | 45 000 000 | 2,5 | 0,11 |
| 6 | 110 000 000 | 1,0 | 0,11 |
| 7 | 280 000 000 | 0,40 | 0,11 |
| 8 | 710 000 000 | 0,16 | 0,11 |
| 9 | 1 800 000 000 | 0,063 | 0,11 |
| 10 | 4 500 000 000 | 0,025 | 0,11 |

видно, что с ослабеванием звездной величины метеоров на единицу их число возрастает в $2^1/_2$ раза. Однако ослабление на одну звездную величину означает уменьшение яркости в $2^1/_2$ раза, и в таком же отношении уменьшается его масса (так как при одинаковой скорости яркость метеора пропорциональна его массе). Благодаря такому случайному совпадению суммарная масса метеоров каждой звездной величины оказывается одна и та же, а именно — 110 *кг*.

Как мы видим, «коэффициент полезного действия» метеоров, если их рассматривать как источник света, весьма велик. Если бы все метеоры, принадлежащие только к одной звездной величине и падающие за сутки, вздумали упасть одновременно в поле зрения, то они создали бы освещение, в несколько раз более сильное, чем освещение от полной Луны, а если бы все метеоры, падающие за сутки, мелькнули бы все сразу, то они осветили бы местность в 250 раз сильнее, чем Луна. И все это путем обращения в раскаленный пар лишь 5 тонн вещества на расстоянии сотни километров! Если бы они светили на расстоянии 1 *км* от нас, то освещение было бы еще в 10 000 раз ярче,— правда, всего лишь на секунды.

Самые яркие из метеоров, вернее, болидов, имеют яркость, соответствующую —10-й звездной величине. С другой стороны число слабых метеоров, не видимых даже в телескоп, нет нужды считать бесконечным.

С уменьшением яркости метеоров уменьшается их масса, и метеоры, которые были бы слабее 30-й звездной величины, уже настолько малы, что подобные пылинки давным-давно были бы выметены из Солнечной системы давлением света, которое для них превышает тяготение.

Таким образом, полная масса метеоров от —10 до +30 звездной величины, ежесуточно выпадающих на Землю, составляет около 4400 *кг*. Подсчет по таким же данным для метеоритов дает еще 5500 *кг*. Всего на Землю за сутки выпадает около 10 тонн метеоритного вещества.

Если с тех пор как земная кора затвердела, т. е. примерно за последние два миллиарда лет, метеоры и метеориты падали так же часто, как теперь, то на каждый квадратный километр поверхности выпало по 10 тысяч тонн метеоритного вещества, что составляет слой менее 10 *см* толщиной. Поэтому метеоритное вещество, хотя и примешивается к почве, но в ничтожной доле, и говорить, что наши огороды растут на метеоритной почве, нет никаких оснований.

## МЕТЕОРНЫЕ РОИ

До сих пор речь шла преимущественно о спорадических метеорах. Займемся же теперь подробнее метеорными потоками, т. е. метеорами, падающими в определенные дни года и вылетающими из определенного радианта. В табличке, помещенной ниже, приводится список потоков, наиболее богатых метеорами.

| Поток | Дата максимума числа метеоров | Скорость относительно Земли в *км/сек* | Описание метеоров |
|---|---|---|---|
| Квадрантиды (из Волопаса) | Января 3 | 46 | Желтоватые, длинные следы |
| Лириды | Апреля 21 | 51 | Быстрые, белые со следами |
| Эта-Аквариды (из Водолея) | Мая 4 | 66 | То же |
| Дельта-Аквариды | Июля 28 | 50 | Желтые |
| Персеиды | Августа 12 | 61 | Быстрые, белые |
| Ориониды | Октября 22 | 68 | То же |
| Леониды | Ноября 16 | 72 | Быстрые, зеленоватые |
| Геминиды (из Близнецов) | Декабря 12 | 36 | Белые |

Уже из того, что метеоры, несущиеся из межпланетного пространства и вылетающие из определенного радианта, ежегодно наблюдаются в одни и те же дни, видно, что они движутся растянутым по

какой-то орбите потоком. В указанные даты Земля пересекает их путь, отчего и сталкивается с ними. Если метеоры более или менее растянуты по орбите, как трамваи, идущие гуськом, друг за другом на правильных интервалах, то всякий раз, пересекая их путь, Земля будет сталкиваться с ними и встречать их примерно в одинаковом числе. Такой случай имеет место у Персеид. Земля пересекает в течение нескольких суток ту как бы космическую «баранку», которую образует растянутый рой Персеид. 12 августа она, очевидно, пересекает середину этой «баранки», где метеоры больше всего сгущены: это день максимума потока.

Легко понять, что если метеоры движутся по эллиптической орбите, обращаясь около Солнца, и распределены вдоль этой орбиты неравномерно, и имеется где-либо сгущение, то будет происходить следующее. Земля чаще будет пересекать бедные метеорами области «баранки», и их в эти годы (всегда в одни и те же дни) будет наблюдаться мало. Когда-либо Земля встретится в том же месте своего годичного пути с главным скопищем метеоров, и тогда будет обильный дождь звезд. Это можно сравнить с тем случаем, когда правильные интервалы между трамваями на трамвайном кольце нарушились, и они все сгрудились, идя в хвосте друг за другом. Не скоро случится, что, выйдя к остановке, вы сразу встретитесь с этими скученными трамваями.

Если подобное сгущение метеоров имеет очень малую протяженность, то далеко не в каждый свой приход в точку, где орбита сгущения пересекается с Землей, оно будет ее здесь заставать,— либо Земля, либо сгущение метеоров будут проходить точку пересечения орбит раньше другого, как бы играя в прятки. Вероятно, случаи такого рода бывают, но мы их пока не знаем. Действительно, периоды обращения большинства потоков должны измеряться десятилетиями, а одновременный приход в точку пересечения орбит будет происходить тогда раз в несколько столетий. Между тем научное изучение метеоров насчитывает всего лишь около сотни лет.

Определяя точно положение радианта и зная скорость метеоров, можно вычислить орбиту метеорного потока в пространстве. С течением времени эта орбита меняется благодаря возмущениям в движении метеоров, под действием притяжения планет, в особенности Юпитера.

Невозможно себе представить, чтобы метеоры, растянутые на орбите, могли бы с течением времени

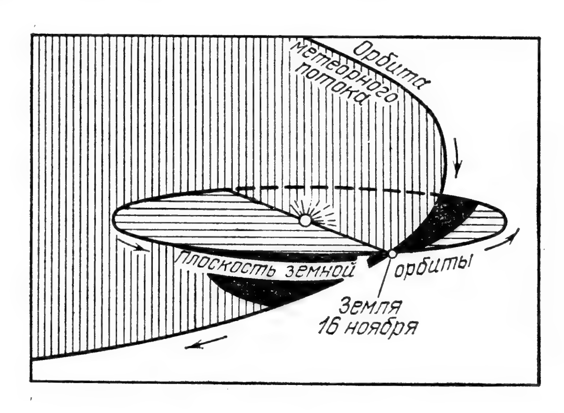



Рис. 93. Орбиты Леонид и Земли в пространстве.

скучиваться. Наоборот, надо ожидать, что постепенно притяжения планет и Солнца, неодинаковые для более к ним близких и более далеких частей роя, как бы растянут этот рой по всем направлениям, но преимущественно вдоль его орбиты, так что постепенно сгущение метеоров растянется по всей орбите и образует подобие «баранки».

Ясно, что чем больше обращений около Солнца совершил метеорный поток, тем больше подвергался он «раздергивающим» воздействиям и тем шире и растянутее по орбите он должен быть. По степени концентрации метеоров на их орбите можно судить о возрасте этого метеорного потока, т. е. о времени, протекшем с момента его образования, хотя, конечно, при этом играет роль и период обращения и расположение его орбиты относительно планет.

Возможно, что спорадические метеоры — это «отщепенцы» метеорных потоков, частички, вырванные некогда из большой компании подобных им тел.

Многие метеорные потоки имеют не только древнее происхождение, но и древние свидетельства их появлений. В этом отношении наиболее замечательны Леониды. Они обращаются по орбите с периодом 33 года, и целые ливни метеоров из этого радианта наблюдались, например, в 1799, 1833 и 1866 гг. С их главным скоплением Земля встречалась каждые 33 года.

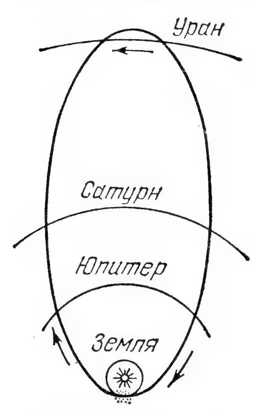


Рис. 94. Леониды движутся по своей орбите плотным роем.

В 1799 г. в Южной Америке видели и впервые научно описали звездный дождь, образованный Леонидами в ноябре. Индейцы рассказали, что такое же явление было в 1766 г. Пораженные этим явлением индейцы запомнили его хорошо, тогда как европейские ученые, очевидно, не обратили на него внимания.

На этом основании впервые заподозрили периодичность метеорных дождей, и действительно, в 1833 г. ноябрьский дождь падающих звезд повторился. Тогда ученые обратились к летописям разных народов и проследили по ним, хотя и с перерывами, метеорный дождь Леонид вплоть до 1768 г. до нашей эры! Эту первую запись 3700 лет назад сделали китайские летописцы. Следующее упоминание о нем нашлось в арабских источниках, относящихся к 902 г. Японские летописцы отметили необычайные падения звезд в ноябре 867, 1002, 1035 — 1037 гг., по случаю чего напуганные японские императоры даже объявляли амнистию заключенным. Позднее летописи в разных странах все чаще и чаще, нередко с суеверным страхом, отмечают максимумы падения Леонид. Среди них для нас интересно древнерусское свидетельство, содержащееся в знаменитой Лаврентьевской летописи. В записях 1202 г. говорится: «В 5 ча-

сов нощи потече небо все», «течение звездное бысть на небеси, отторгаху бо ся звезды на землю». В 1533 г. говорится, что в Москве «видети мнози людие: звезды по небеси протягахуся яко же вервии, летааху с востока на зимний запад». В другой летописи это явление описывается как чудесное «знамение небесное», как «видение» пономаря Тарасия с колокольни в Новгороде-Великом: «множество ангел стреляющих огненными стрелами, яко дождь сильный из тучи».

По признанию американского ученого Фишера целый ряд русских летописных сведений о метеорах в прошлые века является ценным для науки и отсутствует в западноевропейских хрониках. Так древнерусские наблюдения принесли огромную пользу для современной науки.

Дождь Леонид, предсказанный в ноябре 1866 г., наблюдался повсеместно, но в 1899 г. всеобщие ожидания оказались напрасными, метеоров в ноябре было очень мало. Оказалось, что между 1866 и 1899 гг. метеорный сгусток проходил вблизи Юпитера и Сатурна. Притяжение этих планет как бы оттащило в сторону его орбиту, так что с Землей встретились лишь окраины роя. В 1932 г. надежды на новую встречу опять были напрасны, и за минуту, как и в 1899 г., появлялось лишь по одному метеору. Едва ли когда-либо возмущения планет снова направят этот метеорный поток прямо на нашу Землю — незначительную пылинку в том объеме, в котором для расположения метеорных орбит так много места.

Леониды налетают на Землю почти в лоб, сталкиваясь с ее «утренним» полушарием, а их скорость, складываясь с орбитальной скоростью Земли, приводит к тому, что их скорость в атмосфере составляет 72 *км/сек*. При такой большой скорости испарение их в воздухе идет очень быстро, и метеоры достигают большой яркости, оставляя следы в виде быстро затухающих туманных стрел.

Если, однако, из-за возмущений от Юпитера и Сатурна мы почти что лишились поразительного зрелища, доставляемого Леонидами, то иногда благодаря тем же возмущениям случай дарит нас время

от времени новыми неожиданностями. Из неведомого перед нами встают новые замечательные явления. Последним из них были Дракониды.

9 октября 1933 г., как только над Европой простерлась ночная тьма, небо усеяли слабые, но многочисленные метеоры. Число их росло, и к 8 часам вечера за минуту насчитывали до 350 падающих звезд, но уже через час от них не осталось и десятой доли. К полуночи метеоры иссякли, и когда ночь добралась до Америки, то все уже было кончено, и там лишь впоследствии узнали, чем случай одарил Европу в эту ночь. Радиант метеоров лежал в созвездии Дракона. Несмотря на неожиданность явления, многие успели сфотографировать метеоры, а на одной из пластинок за 10 минут на площадке неба размером $10 \times 10^{\circ}$ обнаружили 26 метеорных следов.

Дракониды, долго блуждавшие в пространстве, в этом году впервые обрушились на Землю, потому что Юпитер, упорно ворочавший их орбиту, наконец привел ее к пересечению с орбитой Земли.

В последующие годы Драконид было видно мало,— признак их значительной концентрации в определенном месте орбиты. 9—10 октября 1946 г. мы опять зацепили часть главного роя и опять увидели дождь падающих звезд.

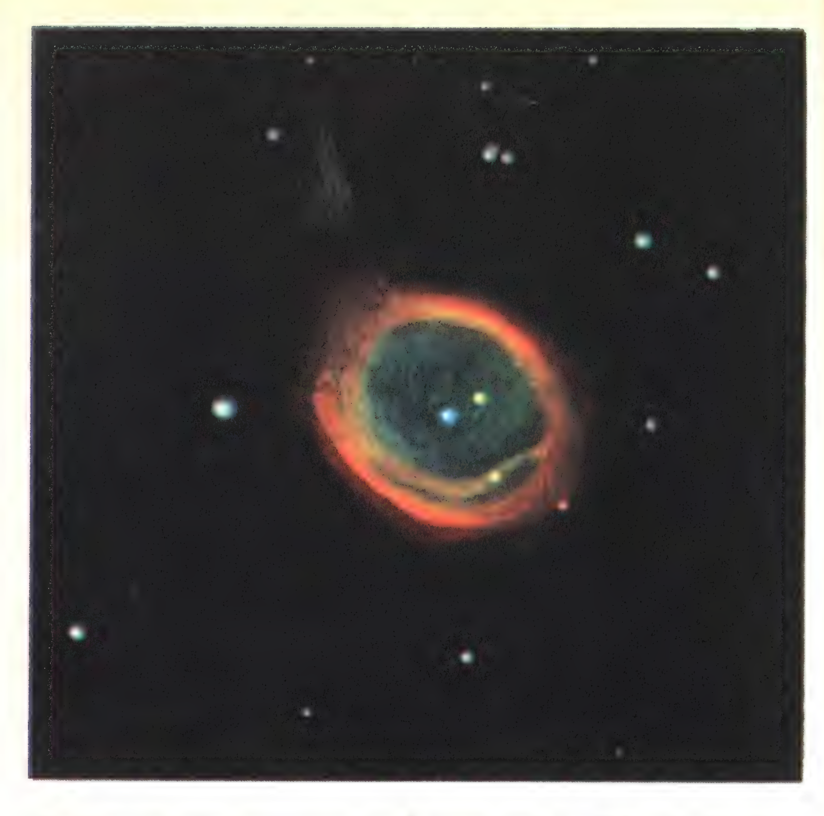
В 1933 г. находившиеся тогда под колониальным гнетом туземцы Судана в Африке, перепугавшись злого духа, «срывающего звезды с неба», подняли барабанный бой, чтобы испугать его, так же как некогда китайцы пытались отпугнуть дракона, якобы пожирающего Солнце во время затмения.

В астрономии же сохранился из драконов только один, да и тот является просто созвездием, а о смысле названия, данного во времена древних суеверий, мы теперь редко даже и вспоминаем.

Звездные дожди не раз пугали население. Так, например, в 1833 г. неграми на американских плантациях Леониды были приняты за предзнаменование дня «страшного суда», а сто лет спустя, в 1933 г., Дракониды навели страх в отсталой и реакционной тогда Португалии, и народ повалил в церкви.



Цветная фотография Большой туманности Ориона, полученная Миллером на 5-метровом телескопе Паломарской обсерватории (США).



**Цветная фотография планетарной туманности в Лире, полученная Миллером на 5-метровом телескопе Паломарской обсерватории (США).**

## ПРАХ КОМЕТ

В то время как для несведущих людей метеорные дожди иногда кажутся грозным явлением, для ученых они явились, наоборот, основанием для рассеивания совершенно иных страхов, так сказать, «научного порядка», именно страхов столкновения Земли с кометой.

В этом отношении, а также для выяснения происхождения метеоров, для нас особенную ценность представила комета Биэлы и метеоры, носящие то же имя,— Биэлиды.

Австрийский офицер Белый, по происхождению чех, был любителем астрономии. Его фамилию переделали в армии на немецкий лад в Биэлу. И вот ему-то, любителю астрономии, посчастливилось в 1826 г. открыть комету, которой присвоили его измененную фамилию. Уже впоследствии выяснилось, что эта комета с периодом обращения $6^1/_2$ лет наблюдалась в одно из своих прежних появлений вблизи Земли и Солнца еще в 1772 г.

Мы уже упоминали о том, что при своем появлении в 1846 г. эта комета распалась на две, которые, уже сильно ослабленные в яркости и разошедшиеся друг от друга на большое расстояние, вернулись к Солнцу в 1852 г. С тех пор они как в воду канули. При следующих появлениях ни одной из них увидеть не могли, хотя место на небе, где они должны были бы быть видны, с большой точностью было вычислено заранее.

В 1872 г., через двадцать лет после таинственного исчезновения кометы Биэлы, 27 ноября небо засверкало от падающих звезд, хотя и не очень ярких. Их радиант лежал в созвездии Андромеды. Их число, как и число Драконид в 1933 г., быстро росло с конца сумерек до $8^1/_2$ час. вечера, достигнув в максимуме сотни метеоров в минуту, а после полуночи небо бороздилось уже лишь отдельными редкими метеорами. Орбита этих метеоров, вычисленная на основании наблюдаемого положения их радианта, оказалась сходной с орбитой пропавшей кометы Биэлы.

Метеоры оказались летящими вереницей по тому пути, по которому злосчастная комета двигалась, прежде чем исчезнуть. Их взаимное родство поэтому несомненно, и даже возникает вопрос, не являются ли крошечные, но бесчисленные метеорные тельца Биэлид (или Андромедид) — всем, что осталось от хвостатой кометы. Приходится заключить, что это так, хотя перерождение кометы началось не после 1852 г., а раньше. Более подробные исследования показали вот что. Еще в 1782 г. наблюдали 27 ноября обильный поток метеоров, вероятно, тождественный только что описанному. В 1832 г. орбита кометы Биэлы по вычислениям прошла от орбиты Земли на расстоянии всего лишь в несколько тысяч километров, но на этом близком расстоянии свидание Земли и кометы так и не состоялось. До 1872 г. Земля и комета играли в прятки: то одна, то другая опаздывали к месту встречи. После 1852 г. комета не приближалась слишком близко к Юпитеру, и потому она или ее остатки должны были продолжать циркулировать по той же орбите. Встреча их с Землей была возможна, но не было точно известно, где на своей орбите они находятся, а потому время встречи предвидеть было нельзя.

В 1872 г., 27 ноября, когда метеоры заполняли небо, комета была уже далеко, на расстоянии многих сотен тысяч километров, так как она пересекла орбиту Земли на 80 дней раньше, 9 сентября.

В 1878 г. Земля явилась к точке пересечения орбит полугодом раньше, а в 1879 г. полугодом позже, чем комета. В эти годы наблюдалось мало метеоров. По истечении еще одного периода обращения комета Биэлы должна была пересечь орбиту Земли в середине января 1886 г. Однако еще немного раньше, 27 ноября 1885 г., снова посыпался звездный дождь. Его наблюдал, в частности, любитель астрономии и художник, специалист по истории Москвы, А. М. Васнецов (брат известного художника В. М. Васнецова). Он рассказывал, что метеоры появлялись как бы лениво, с промежутками около полусекунды, оставляя бледный, тусклый след, да и сами были не очень

ярки, преимущественно около 3-й звездной величины. Их малая яркость объясняется тем, что Биэлидам приходится догонять Землю, и они влетают в атмосферу со скоростью всего лишь 20 *км/сек*.

Мы видим, что в 1885 г. рой метеоров, еще мало растянувшихся вдоль орбиты, предшествовал тому месту, в котором должна была бы находиться комета. Метеорный рой, который дал звездный дождь 1799 г., должен был зародиться еще раньше, быть может, в 1772 г., когда комета тоже приближалась к Юпитеру.

Таким образом, процесс распада ядра кометы на метеоры (именно ядра, ибо твердые частицы есть только в ядре кометы) длился не менее столетия, и образование метеоров началось задолго до исчезновения кометы как таковой.

В 1890 г., а затем и повторно в 1901 г. Юпитер возмутил движение Биэлид, и потому вблизи возможных встреч их с Землей (в 1892 и 1899 гг.) метеоров наблюдалось в ноябре очень мало. С тех пор их вообще больше не видят. Их путь пролег теперь на расстоянии нескольких миллионов километров от Земли, и крохотные, темные они несутся мимо нас, не видимые нами, вероятно, навсегда ушедшие из области, доступной нашему изучению.

Однако Биэлиды, явив яркий пример связи метеоров с кометами, не были первым звеном на пути к ее установлению.

Еще в 1866 г. итальянский астроном Скиапарелли обнаружил, что орбита Персеид близка к орбите кометы 1862 III. В 1866 г. наблюдалась другая слабая комета, и сходство ее орбиты с орбитой Леонид было тотчас же замечено сразу тремя астрономами разных стран. Вскоре затем, в результате уже специальных поисков такого рода найдено было сходство между орбитой Лирид и орбитой кометы 1861 I.

К настоящему времени около десятка метеорных потоков удалось связать с кометами. В том числе с кометой Галлея связаны Эта-Аквариды и Ориониды.

Большой интерес представляет совсем недавно выясненная связь между Тауридами и самой короткопериодической из комет, знаменитой кометой Энке. Установили, что у этих метеоров период обращения составляет 3,3 года.

По-видимому, они откололись от кометы Энке около 10 000 лет назад. Сейчас благодаря возмущениям рой отклонившихся от нее метеоров движется по орбите, уже весьма отличной от той, по которой теперь движется комета.

В следующей таблице приведен список метеорных потоков, несомненно, связанных с кометами,

**Орбиты метеорных потоков и комет-родоначальниц**

| | Период в годах | Перигельное расстояние в астрономических единицах | Эксцентриситет | Наклонение | Скорость относительно Земли в *км/сек* |
|---|---|---|---|---|---|
| Персеиды . . . . . | 110 | 0,97 | 0,96 | 120° | 61 |
| Комета 1862 III . . | 122 | 0,963 | 0,96 | 124 | |
| Леониды . . . . . . | 33,2 | 0,986 | 0,905 | 163 | 72 |
| Комета 1866 I . . . | 33,2 | 0,977 | 0,906 | 163 | |
| Лириды . . . . . . | — | 0,90 | 1,00 | 80 | 51 |
| Комета 1861 I . . . | 415 | 0,92 | 0,98 | 80 | |
| Биэлиды . . . . . . | 8,3 | 0,855 | 0,86 | 12,1 | 17 |
| Комета Биэлы . . . | 6,62 | 0,861 | 0,86 | 12,6 | |
| Эта-Аквариды . . . | — | 0,60 | 0,97 | 162 | 66 |
| Ориониды . . . . . | — | 0,52 | 1,00 | 161 | 68 |
| Комета Галлея . . . | 76 | 0,59 | 0,97 | 162 | |
| Дракониды . . . . . | 6,6 | 1,02 | 0,71 | 31 | 20 |
| Комета 1933 III . . | 6,6 | 1,00 | 0,72 | 31 | |
| Тауриды . . . . . . | 3,3 | 0,39 | 0,82 | 4 | 27 |
| Комета Энке . . . . | 3,3 | 0,33 | 0,85 | 13 | |

с указанием некоторых элементов их орбит. Из этой таблички видно, что элементы орбит «родственных» метеорных потоков и комет близки между собой. Однако в этом списке содержится лишь малая часть

комет и соответствующих им метеорных потоков, известных в настоящее время. Причину этого мы сейчас разъясним.

Многие из наблюдаемых метеорных потоков могут быть нами связаны, но уже неуверенно, либо с кометами, давно исчезнувшими, либо с кометами, имеющими период обращения порядка сотни лет или больше. Надо вспомнить и о том, что не при каждом своем приближении к Солнцу комета может быть наблюдаема. Нередко ее путь случайно располагается относительно Земли так, что в пору наибольшего приближения к Земле и к Солнцу комета упорно прячется в солнечных лучах. Случается, что ее видимости, иногда кратковременной, мешает свет полной Луны. Возможно, что из межпланетной пучины вдруг вынырнет периодическая комета, доселе еще не наблюдавшаяся, и сразу выявит свое родство с каким-либо из давно известных метеорных потоков.

Надо сознаться, что и в упомянутых примерах установления связи метеорных потоков с кометами астрономам повезло. Как только впервые были определены орбиты трех метеорных потоков, явились три слабые кометы и... счастливый случай. Комета 1861 I, родоначальница Лирид, имеет большой период обращения, и следующее ее появление будет лишь через несколько столетий. Комета 1862 III, рассеявшая по своей орбите Персеиды, также вернется в следующий раз к Солнцу лишь в конце текущего столетия. Спутница Леонид, комета 1866 I, хотя и оборачивается около Солнца за 33 года, но в 1899 и в 1932 г. была расположена на небе так близко к Солнцу, что ее, старую знакомую, так и не видели.

Проскользни тогда эти три кометы незамеченными, что зачастую бывает со слабыми кометами и сейчас, мы бы еще не скоро обнаружили связь метеорных потоков с кометами и не знали бы, могут ли они сосуществовать на одной и той же орбите.

Можно себе представить, как пришлось бы астрономам ломать голову над происхождением метеоров и какие, быть может, фантастические гипотезы

пришлось бы при этом строить! Мы видим, что успехи науки, плод планомерного и длительного труда, иногда зависят и от счастливого стечения обстоятельств. Не надо, однако, забывать, что одного счастливого случая мало, надо уметь им воспользоваться, быть к нему подготовленным.

Наше замечание об удачном появлении комет можно отнести и к метеорам. Данные для предыдущей таблички накопились за целое столетие. В текущем веке Биэлиды не дали ни одного метеора. Дракониды — один из наиболее богатых метеорных потоков — появились совсем недавно, и совсем немного лет назад одной строчкой в таблице было меньше.

В 1916 и 1921 гг. появилось немного слабых метеоров, связанных с кометой Понса — Виннеке, но в 1922 и 1923 гг. автор этой книжки тщетно ожидал их появления в июньские ночи. Бодрствование оказалось напрасным — метеоров не было. Едва став доступными для изучения, они возмущениями планет снова были удалены от земной орбиты, и это добавление к нашему списку остается под некоторым вопросом.

В сравнении с числом комет, бороздящих Солнечную систему, как рыбы океан, число комет, замечаемых нами, невелико, и еще ничтожнее число тех, о которых мы знаем, что они сопровождаются продуктами их собственного разложения — метеорами. Ни одна из комет, движущихся по огромным эллипсам, приближающимся к параболам, с афелиями, лежащими за пределами орбиты Плутона, не показала нам своих метеоров.

Редко проходя вблизи больших планет, они, вероятно, мало разрушились, и их метеоры мало растянулись вдоль орбиты. Если же они и растянулись вдоль нее, то летят далеко друг от друга и сталкиваются с Землей «в рассрочку», в разные годы и в таком малом числе, что из наблюдений невозможно установить их радиант, а следовательно, нельзя вычислить и их орбиту.

Перигелии большинства комет, даже периодических, лежат вне земной орбиты, и без особенно боль-

ших возмущений их метеорам никогда не суждено встретиться с Землей. Небольшое число комет с орбитами, пересекающимися с орбитой Земли, имеют короткие периоды обращения и потому быстро распадаются, давая доступные для наблюдения метеоры, но те же возмущения, что породили и рассеяли эти метеоры, опять-таки быстро выводят их из области видимости.

Мы уже упоминали, что в метеорных потоках частицу от частицы отделяют сотни километров. Зная диаметр Земли, время, необходимое для пересечения ею метеорного потока, и число их, попадающих в атмосферу, можно оценить полную массу метеоров в потоке.

Для Персеид такой ориентировочный подсчет дает массу в 500 миллионов тонн. Это число поражает нас своей грандиозностью, но в сравнении с массами небесных тел оно ничтожно. На образование Земли пошел бы миллион миллиардов таких метеорных потоков, тогда как массы одного потока хватило бы только на сантиметровый слой пыли, которой можно было бы засыпать, например, Крымский полуостров.

Спектры метеоров, полученные теперь в достаточно большом числе, показывают, что все метеоры, входящие в периодические потоки,— каменистого строения, тогда как из числа спорадических метеоров половина приходится на каменные и половина на железные.

Это обстоятельство как будто мешает нам считать, что все спорадические метеоры, так же как и периодические потоки метеоров, произошли от комет и являются продуктом разложения метеорных роев. Быть может, часть их, именно железные, имеет иное происхождение. Какова их суммарная масса в Солнечной системе, оценить невозможно. Во всяком случае, метеоры и даже метеорные потоки в бесчисленном множестве снуют по Солнечной системе, и лишь ничтожная часть их доступна нашему наблюдению.

Наблюдая метеоры, мы до некоторой степени похожи на собирателя насекомых, идущего в летний

день по необозримым лугам по узкой тропинке и подбирающего на ней лишь те экземпляры, которые ему подарит случай.

Все же мы должны быть удовлетворены уже тем, что установили неоспоримую связь некоторых метеоров с кометами.

## МЕТЕОРЫ В АТМОСФЕРЕ

Мы развенчали падающие звезды в качестве подлинных звезд — этих величайших небесных тел — и признали в них лишь ничтожные камешки. Эти камешки, пока они несутся вне земной атмосферы,— ничтожные, но все-таки небесные тела, и изучение их как таковых увело нас в глубины межпланетного пространства, заставило обратиться к другим и гораздо более значительным небесным телам — кометам. Но, попав в атмосферу Земли и светясь в ней короткое время, и метеор и метеорит уже перестают быть по существу небесными телами. Их полет в воздухе сопровождается особыми интересными явлениями, причем маленький камешек-метеор уже перестает при этом быть таковым, почему некоторые ученые предлагают все такие камешки называть метеорными телами, а под метеором понимать лишь само явление свечения во время его полета в атмосфере. Нам кажется, что в этом нет особой нужды и это вызывает свои неудобства, но уделим некоторое внимание тому, почему и как метеоры, оказавшись в атмосфере, становятся видимы, и что нам дает изучение этих явлений для познания нашей собственной планеты...

Беззвучно катящаяся по небу звезда, осколок далекой кометы и орудийные залпы, обстрел и бомбежка мирных тыловых городов, что, кажется, может быть общего между ними?!

1918 год... Немецкие армии рвутся к Парижу, но они далеко, определенно известно, что враг не ближе 120 *км* от города, оснований для паники нет. И вдруг... в окрестностях Парижа начинают рваться большие снаряды. Что же думать... Где враг?

Оказалось, что немцы создали сверхдальнобойные пушки, которые могли стрелять на дистанцию в 120 *км*. Эти орудия выбрасывали снаряды весом 120 *кг* из ствола длиною 37 *м* с начальной скоростью 1700 *м/сек* под углом 55° к горизонту. В этом и заключался главный секрет сверхдальности. Быстро прорезав нижние плотные слои воздуха, снаряд забирался в верхние разреженные слои земной атмосферы, далеко в стратосферу, на высоту 40 *км*. Там разреженный воздух мало тормозил его движение, и вместо нескольких десятков километров снаряд пролетал сотню километров. Надо сказать, что стрельба немцев не была очень меткой; они рассчитывали больше на создание паники.

Известную долю неточности их стрельбы обусловила невозможность рассчитать точно условия полета снаряда на большой высоте. Ни плотность, ни состав, ни движение воздуха на этой высоте не были тогда известны; атмосфера на этих высотах не была еще изучена. Действительно, даже стратостаты, поднимавшие впоследствии людей с научными приборами, достигли высоты всего лишь около 22 *км*, а воздушные шары с самопишущими приборами без людей поднимались до 30 *км*. Ракеты, поднимающиеся на высоты более 100 *км*, стали пускать только после второй мировой войны.

О более высоких слоях воздуха раньше можно было составить представление лишь путем изучения происходящих там явлений, и метеоры, ежедневно пронизывающие их, все еще доставляют один из лучших косвенных методов такого рода. Лишь совсем недавно на вооружение ученых поступило такое мощное средство всестороннего исследования верхних слоев атмосферы, как искусственные спутники Земли. Вот почему усиленное изучение метеоров было важным пунктом программы проведения Международного геофизического года (1957—1958 гг.).

Метеоры являются невольными разведчиками стратосферы, и наша задача — научиться их опрашивать. Вот к чему приводят результаты такого опроса, начатого всего лишь лет тридцать назад.

Метеорные тела вторгаются в атмосферу со скоростью, примерно в сотню раз большей скорости ружейной пули в начале ее пути. Как известно, кинетическая энергия, т. е. энергия движения тела, равна половине произведения квадрата его скорости на его массу. Вся эта энергия метеора идет на излучение тепла и света, на раздробление тела на молекулы, на разрушение молекул тела и воздуха на атомы и на ионизацию этих атомов.

Молекулы и атомы твердого тела, и метеора в том числе, часто расположены в некотором определенном порядке, образуя так называемую кристаллическую решетку. С чудовищной скоростью метеор врезается в воздух, и молекулы, из которых состоит воздух, с силой втискиваются в молекулярную решетку метеорного тела. Чем дальше влетает метеор в земную атмосферу, тем плотнее там воздух и тем больше и больше молекулярная решетка метеорного тела подвергается ожесточенной бомбардировке молекулами воздуха.

Лобовая часть метеора в конце концов получает ливень таких ударов, при которых молекулы воздуха вонзаются в метеор, проникают внутрь него, как снаряд в железобетонный дот. Этот «обстрел» передней поверхности нарушает связи между молекулами и атомами тела, ломает кристаллические решетки и вырывает из них отдельные молекулы вещества метеора, накапливающиеся уже в беспорядке на его лобовой поверхности. Часть молекул расщепляется на атомы, из которых они состоят. Некоторые атомы от ударов даже теряют входящие в их состав электроны, т. е. ионизуются, приобретая электрический заряд. Отколотые электроны, время от времени скользя слишком близко к ионам, захватываются ими на «вакантные места» и при этом, в соответствии с законами физики, излучают свет. Каждый атом излучает свои длины волн, отчего спектр метеора и есть ярко-линейчатый спектр, характерный для свечения разреженных газов.

Чем глубже в атмосферу, тем быстрее идет разрушение метеора и сильнее его свечение. На высоте

ниже 130 *км* над Землей оно уже достаточно, чтобы сделать метеор видимым для нас.

Молекулы воздуха тоже страдают при ударах, но они прочнее молекул и атомов метеора и реже ионизуются, кроме того, они не так сильно сконцентрированы и потому дают столь слабое свечение, что линии газов, составляющих атмосферу (в основном кислорода и азота), мы в спектре метеора не замечаем.

Ниже в атмосфере воздух перед лобовой поверхностью метеора образует «шапку», состоящую из сжатых газов, в которые превращается метеор, и отчасти — из газов сжимаемого им перед собою воздуха. Струи сжатого и горячего газа обтекают метеорное тело с боков, отрывая от него новые частицы и ускоряя разрушение камешка.

Более крупные метеорные тела проникают глубоко в атмосферу, не успев целиком превратиться в газ. Для них торможение приводит к потере их космической скорости на высоте 20—25 *км*. Из этой «точки задержки», как ее называют, они падают уже почти отвесно, как бомбы с пикирующего самолета.

В низких слоях атмосферы обилие твердых частиц, сорванных с боков метеорного тела и отставших от него, образует за ним «дымный» черный или белый пылевой след, часто видимый при полете ярких болидов. Когда такое тело достаточно велико, то в разрежение, образующееся за ним, устремляется воздух. Это, а также сжатие и разрежение воздуха на пути большого метеорного тела вызывают звуковые волны. Поэтому полет ярких болидов сопровождается звуками, похожими иногда на выстрелы и на раскаты грома.

Как яркость, так и цвет метеоров и болидов создается не накаливающейся твердой поверхностью, которая ничтожно мала, а частицами вещества, обращенными в газ. Поэтому цвет их зависит не столько от температуры, сколько от того, какие из светлых линий в его видимом спектре являются наиболее яркими. Последнее зависит от химического состава тела и от условий его свечения, определяемых его

скоростью. В общем все-таки красноватый цвет сопровождает меньшую скорость движения.

Такова в кратких чертах картина свечения метеорных тел в атмосфере, которую рисует современная наука.

Остановимся на некоторых подробностях этих явлений, изученных совсем недавно и связанных с изучением стратосферы. Например, исследование торможения метеоров проливает свет на изменения плотности воздуха с высотой. Чем больше плотность воздуха, тем сильнее, конечно, торможение, но торможение зависит и от скорости движения и от формы тела, отчего самолетам, автомобилям и даже локомотивам стремятся придать «обтекаемую форму». Тело «обтекаемой» формы лишено острых углов и рассчитано так, чтобы при быстром движении воздух обтекал его, встречая как можно меньше помех, сопротивления, и потому меньше тормозил движение.

Артиллерийские снаряды испытывают в полете огромное сопротивление воздуха. Метеорные же тела летят в воздухе со скоростью, в десятки раз превышающей скорость снаряда, и для них сопротивление воздуха еще больше. По снимку метеора, полученному однажды в Москве любителями астрономии, членами Астрономо-геодезического общества, фотокамерой с сектором, вращающимся перед объективом, для одного метеора нашли торможение (которое часто называют отрицательным ускорением) около 40 $км/сек^2$. Это в 400 раз превосходит ускорение свободного падения тел под действием силы тяжести! И это на высоте 40 *км* над Землей, где воздух так разрежен, что человек там немедленно погиб бы от удушья.

Для того чтобы звук был слышен, воздух должен иметь определенную плотность. В безвоздушном пространстве звуков нет, и как колокольчик в вакууме под колпаком воздушного насоса на лекции по физике старается напрасно, так и в безвоздушном межпланетном пространстве мировые катастрофы происходят беззвучно. Грандиозный взрыв «новой звезды» или столкновения звезд (впрочем, почти не-

вероятные) происходят так бесшумно, что, находясь вблизи от них в момент катастрофы, мы бы даже не обернулись, если бы это произошло у нас «за спиной».

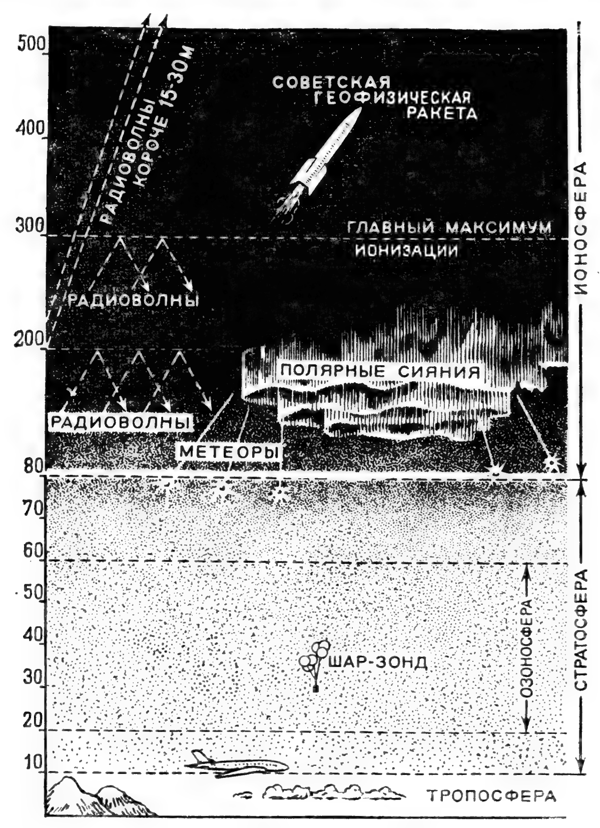



Рис. 95. Строение земной атмосферы.

Характер звуков при полете болидов говорит нам многое о плотности верхних слоев атмосферы.

Хорошую возможность изучения воздушных течений в высоких слоях атмосферы нам доставляют следы, остающиеся в небе после полета ярких метеоров и болидов; 20—80 *км* — вот их высота над нашими головами.

Сколько времени видны пылевые следы, зависит от условий освещения и от количества вещества, превращенного в мельчайшую взвешенную в воздухе пыль. Играют тут роль и воздушные течения, разносящие пылинки в стороны и «заметающие» след болида. В исключительных случаях след болида бывает видим в течение 5—6 часов.

Серебристые следы, видимые ночью после пролета быстрых и ярких метеоров, имеют другую природу,— они газовые и лежат всегда выше 80 *км*. При огромной скорости соударяющихся молекул вдоль пути метеора происходит сильная ионизация молекул воздуха, чему помогает и ультрафиолетовое излучение метеора. В образовавшемся за метеором цилиндре ионизованного воздуха медленно происходит воссоединение ионов с электронами, медленно потому, что при большой разреженности воздуха на такой высоте наэлектризованные частички далеки друг от друга и проходят длинный путь, прежде чем воссоединятся снова. Процесс их воссоединения, как всегда, сопровождается излучением линий спектра. В то же время ионизованные молекулы разлетаются в стороны, и ширина следа растет. От этого яркость следа, конечно, ослабевает, но иные следы (видимые обычно только несколько секунд) остаются на небе среди звезд иногда даже в продолжение часа.

Непрестанная ионизация воздуха метеорами способствует поддержанию на высотах от 80 до 300—350 *км* над Землей ионизованных слоев. Основная причина их возникновения — ионизация воздуха солнечными световыми (ультрафиолетовыми) и корпускулярными лучами (потоками наэлектризованных частиц).

Может быть, не все знают, что именно этим слоям мы обязаны тем, что на коротких волнах можно переговариваться с любителями-коротковолновиками, живущими на Малайском Архипелаге или в Южной Африке. Радиоволны, излучаемые передатчиком и падающие на эти слои под определенным углом, благодаря его электропроводности отражаются как от зеркала. Они не уходят в мировое пространство,

а, отразившись вниз, почти с полной силой принимаются где-либо очень далеко от передающей радиостанции.

Это явление отражения радиоволн связано и с длиной радиоволны. Можно изучить плотность ионов в электропроводящем атмосферном слое, меняя длину волны и определяя, когда радиопередача прекратится, т. е. когда радиоволны не отразятся, а ускользнут из земной атмосферы. Другие радионаблюдения позволяют следить за высотой слоев, которая несколько колеблется.

Как и можно было ожидать, обнаружено, что изменение числа метеоров, влетающих в атмосферу, и даже появление отдельных ярких болидов меняет силу радиоприема на коротких волнах, вызывая быстрые, кратковременные изменения электропроводности воздуха благодаря его ионизации на высотах 50—130 *км*. Большие возмущения в силе радиоприема далеких станций были, например, отмечены на Слуцкой обсерватории под Ленинградом в часы метеорного дождя Драконид 9 октября 1933 г.

Так радиосвязь неожиданным образом реагирует на появление бренных остатков комет, светил, казалось бы, таких безразличных для повседневных дел на нашей Земле!

Девяносто лет назад известный московский астроном В. К. Цераский случайно заметил летом необычные серебристые облака, светившиеся на ночном небе в северной его части. Это не могли быть обычные облака, плавающие не выше 8, в крайнем случае 12 *км* над Землей. Если б это были они, то Солнце, находящееся под горизонтом, не могло бы достать их своими лучами и заставить так ярко светиться. Это должны были быть необыкновенно высокие облака. И действительно, сравнение зарисовок их положения на фоне звезд, сделанное одновременно с двух разных мест (В. К. Цераским и А. А. Белопольским), позволило первому из них впервые доказать, что эти облака разгуливают на высоте 80—85 *км*. С тех пор их наблюдали не раз всегда летом и в северной части неба, вблизи горизонта, так как

даже на такой большой высоте и только при этих условиях солнечные лучи могут их осветить из-под горизонта.

Эти ночные «светящиеся» или «серебристые» облака, как их называют, упорно держатся всегда на

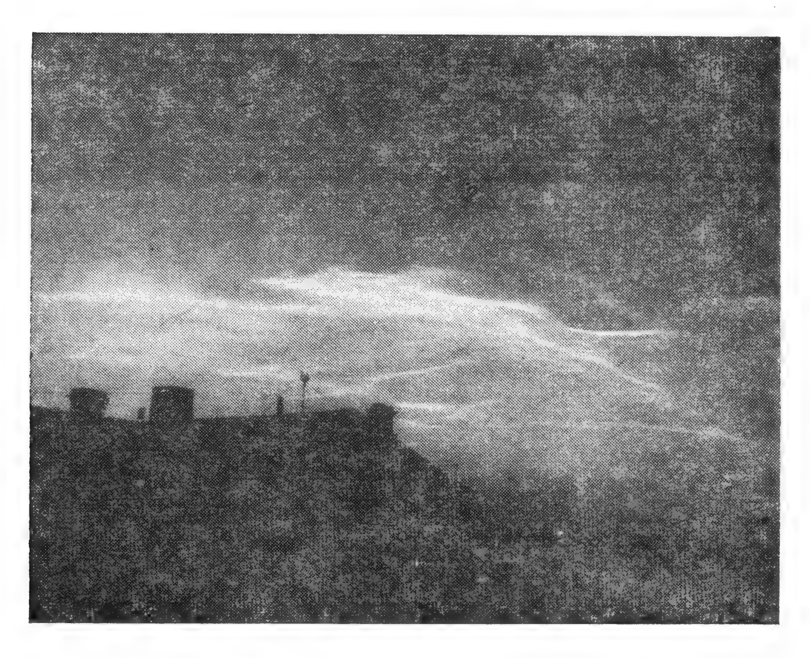


Рис. 96. Светящиеся, или серебристые облака, находясь на большой высоте, освещаются лучами Солнца, находящегося под горизонтом. (Фотография сделана в Свердловске в 1928 г.)

высоте 82 *км*. Быть может, эти облака, лежащие близ нижней границы погасания метеоров, образованы кристалликами льда, намерзшими на пылинки.

Что в воздухе на высоте 80 *км*, где он, казалось бы, должен быть так «чист» (вспомните чистоту воздуха хотя бы в горах!), есть пыль, это еще, казалось бы, куда ни шло. Но что бы вы подумали, если бы вам кто-либо сказал о металлической атмосфере над нашей головой!

Мы справедливо отвергли наивные представления древности о «небесной тверди», о «хрустальных небесах» над нашей головой и вдруг признаем... чуть ли не металлическое небо!

В самом деле, в 1938 г. спектроскоп в руках французских астрофизиков Кабанна, Дюфэ и Гозй с убийственным хладнокровием показал, что в спектре ночного неба постоянно есть известная желтая линия натрия и линии кальция. Кроме этих металлов, ученые надеются обнаружить в атмосфере еще алюминий и даже железо! (Кстати сказать, чтобы получить спектр света ночного неба, которое и так-то кажется почти черным, т. е. почти не испускающим света, приходится делать многочасовые экспозиции.) Металлы, найденные в атмосфере, относятся к высоте 130 *км* над Землей и, конечно, никакого твердого купола не образуют. Отдельные атомы названных металлов единицами насчитываются среди многочисленных молекул крайне разреженного воздуха на этой высоте. По-видимому, атомы металлов рассеиваются в атмосфере при испарении метеоров и светятся при соударении с другими частичками. В самом деле, так или иначе, а продукты испарения метеоров, т. е. по преимуществу атомы тяжелых элементов, должны не только оставаться, но и накапливаться в атмосфере. Будут ли они там светиться или нет — это вопрос особый, но нет никаких причин, чтобы, рассеиваясь на высоте порядка сотни километров, они могли тотчас же опуститься на землю.

Итак, метеорное вещество есть везде, оно лежит у нас под ногами, оно непрерывно путешествует в пространстве, оно висит у нас над головой.

Изучение метеорных явлений дало много ценного для познания стратосферы. Не все из этих выводов, как, например, первые выводы зарубежных ученых Линдемана и Добсона, являются бесспорными в очень молодой науке о движении метеоров в атмосфере, но они все же иллюстрируют, какие возможности тут открываются перед нами. А выводы эти вот какие. Исходя из своей теории свечения метеорных тел





**Рис. 97.** Две фотографии яркого метеорного следа, полученные с перерывом в несколько минут Д. Дебабовым на Чукотке (1941 г.).

в атмосфере, рассматривающей взаимодействие с воздухом летящего метеорного тела, упомянутые авторы в 1923 г. объяснили особенности в распределении по высоте точек погасания метеоров и заключили, что на высоте около 60 *км* воздух сильно нагрет. Они вычислили там температуру, и она оказалась равной $+30^{\circ}$, а позднейшие вычисления привели даже к температуре $110^{\circ}$. (Не будем говорить, что на этой высоте температура оказалась выше точки кипения воды, потому что при тех малых давлениях воздуха, какие имеют место в стратосфере, температура кипения воды много ниже, чем $100^{\circ}$ С.)

Это открытие явилось сюрпризом, потому что непосредственные промеры температуры до высоты в 30 *км* показывали сначала быстрое падение температуры с высотой, а с 11 *км* (нижней границы стратосферы) начинался слой с почти постоянной температурой в $50^{\circ}$ мороза, независимо от времени года и климатического пояса местности. Вернее говоря, стратосфера ведет себя даже «шиворот навыворот»: зимой, даже в полярных странах, ее температура около $-45^{\circ}$, а летом и в тропиках около $-90^{\circ}$. Тропосфера, или нижний слой земной атмосферы, характеризуется падением температуры с высотой и над экватором распространяется выше (до 15—16 *км*), чем у полюсов Земли (9—10 *км*). Эта верхняя ее граница — конец изменения температуры — и определяет начало стратосферы, до известной степени объясняя неожиданное распределение температуры стратосферы по климатическим поясам, так как температура стратосферы равна температуре верхней границы тропосферы. Сезонные же и неожиданные изменения ее температуры тоже связаны с сезонным изменением в высоте границы тропосферы, так как воздух нагревается преимущественно снизу, землей, а зимой земля менее нагрета и прогревает атмосферу до меньшей высоты.

Изучение метеоров неожиданно открыло существование нового повышения температуры с высотой, как говорят, верхней температурной инверсии в стратосфере. Стратонавту, поднявшемуся в меховом

костюме в стратосферу, если он сможет подняться выше 40 *км*, будет, пожалуй, труднее защищаться от жары, которая сменит там 50-градусный мороз, господствующий ниже.

Существование верхней температурной инверсии подтверждается изучением торможения метеоров по фотографиям с вращающимся сектором. Это торможение уменьшается в той самой области, где предположено повышение температуры, как и должно быть. В последнее время температура $+50^\circ$ C на высоте 60 *км* найдена и прямыми измерениями при помощи приборов, установленных на ракетах, запускавшихся в стратосферу.

С точки зрения изучения стратосферы интересно также, что скорость расползания газовых светящихся метеорных следов связана с давлением и температурой окружающих слоев воздуха и позволяет оценить их величину.

Раньше стратосферу считали областью невозмущенного покоя, застывшего в неподвижности воздушного океана, относя всякие ветры и перемещения воздушных масс к области тропосферы. Поэтому полной неожиданностью явилось обнаружение советскими учеными И. С. Астаповичем, В. В. Федынским и другими воздушных течений на высоте 80 *км* над Землей, со скоростями, доходящими до 120 *м/сек*, относящих метеорные следы преимущественно к востоку, но иногда и в другую сторону; встречаются даже и вертикальные течения.

Изучение метеоров в связи со свойствами стратосферы только что началось, и приведенные данные являются лишь первым его даром, могущим убедить в пользе этой отрасли астрономии даже наиболее скептически настроенных людей.

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ

В атмосфере Земли был обнаружен ряд электропроводящих слоев, состоящих из ионизованных молекул воздуха. Роль этих слоев велика — они действуют на радиоволны, как зеркало, отражая их

вниз. Благодаря им возможна радиосвязь вокруг земного шара. Отражаясь по многу раз, радиоволны обегают земной шар между его поверхностью и электропроводящими слоями.

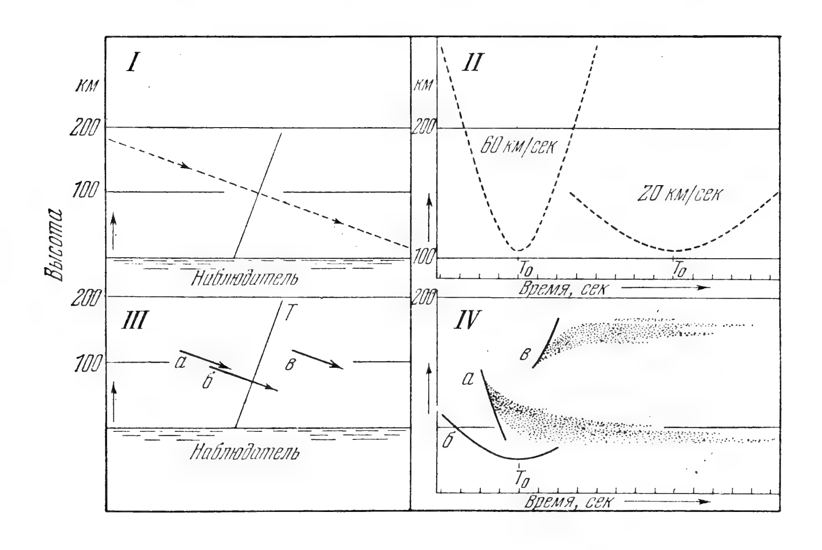
Отражение радиоволн электропроводящими слоями атмосферы сделало возможным определение высоты этих слоев. Оказалось, что они находятся на разных высотах, начиная с 50 *км* над Землей, с максимумом ионизации на высоте 250—300 *км*, и возникают под ионизующим действием ультрафиолетовых солнечных лучей и частичек (корпускул), выбрасываемых с поверхности Солнца. С изменениями в излучении Солнца, сопровождающими изменения на его поверхности, меняются также высота и толщина электропроводящих слоев земной атмосферы.

Некоторую роль в ионизации воздуха играют и проникающие в него метеоритные частички. Испаряясь при нагревании вследствие торможения, частицы метеорного тела, дающие картину «падающей звезды», сталкиваются с частицами воздуха, ионизуя их и ионизуясь сами. Область таких частичек, остающихся на пути полета метеора, видна нам в виде метеорного следа в течение долей секунды, а иногда даже нескольких минут.

Наэлектризованные частицы в метеорном следе должны отражать радиоволны.

В ночь с 9 на 10 октября 1946 г. многие астрономы подстерегали новое появление дождя падающих звезд — Драконид, обрушившегося на ленинградское небо в эти же дни в 1933 г. Эти метеоры — осколки ядра кометы Джакобини — Циннера, имевшей период обращения около Солнца в $6^1/_2$ лет. Впервые ее метеоры встретились с Землей еще в 1926 г., но тогда их было мало. 9—10 октября Земля сближается с орбитой кометы, вдоль которой рассеялись осколки ее ядра. В 1946 г. Земля должна была встретиться с метеорами, отставшими от своего ядра на 230 млн. *км*, т. е. находящимся ближе к ядру, чем те, с которыми она встретилась в 1933 г.

Но обстоятельства сложились неблагоприятно. В это время свет яркой Луны мешал видеть не очень



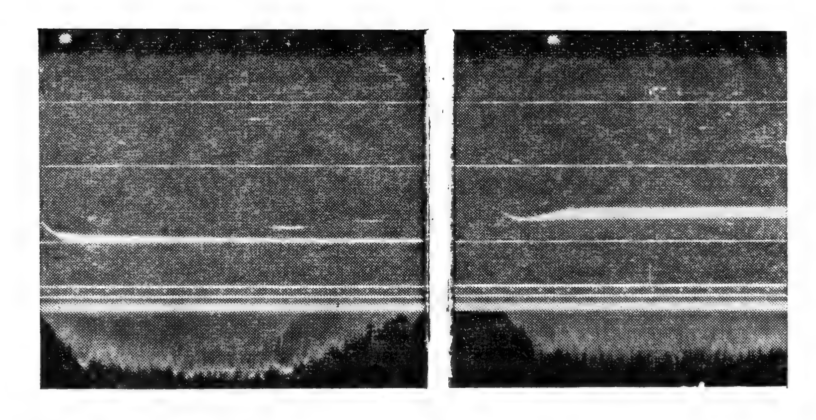



**Рис. 98. Метеоры на экране радиолокатора (схема и фотографии).**

яркие метеоры. Число метеоров, видимых вечером, было очень мало́ и очень медленно нарастало к утру. Очевидно, максимум их приходился на светлое время суток, когда на ярком утреннем небе метеоры невозможно было видеть.

Однако их «увидели» радиолокаторы, которые 9 октября 1946 г. впервые пришли на помощь охотникам за метеорами. Быстро посылая радиоизлучение в разные стороны неба, радиолокаторы в то же время ловили и регистрировали каждое отражение его от ионизованного следа метеора. Погода почти всюду была ясная, но если бы небо было закрыто тучами и шел проливной дождь, радиолокаторы делали бы свое дело с таким же успехом — для посылаемых ими радиоволн тучи столь же прозрачны, как чисто протертое стекло для лучей прожектора.

Так радиолокаторы дали знать, что в 6 час. 10 мин. по московскому времени по небу пролетало 150 метеоров за минуту — это был максимум. К 9 час. утра число метеоров сошло на нет. Как мы видим, слой метеоров был очень тонок, Земля прошла его практически за 2—3 часа, а главную его часть — за 40 минут, чему соответствует толщина 35 000 *км*, т. е. всего лишь в три раза бо́льшая поперечника самой Земли...

Наблюдения метеоров с помощью радиолокаторов проводятся теперь все шире и шире. Передатчик мощностью до нескольких тысяч киловатт посылает направленные волны, вращая свой луч. Радиоволна, попадая на след метеора, отражается обратно и отмечается время прохождения сигнала, дающее расстояние до метеора. Расстояние от летящего метеора до наблюдателя меняется; меняется также время прохождения сигнала от разных точек пути метеора. На верхнем рис. 98 схематически показаны пути метеоров (*I*, *III*) и соответствующая картина на экране радиолокатора (*IV*). Форма кривой позволяет определить быстроту полета. Легко понять, что чем быстрее полет, тем быстрее меняется расстояние до метеора и тем круче кривая на экране *II*, направленная

вершиной книзу. На рисунке приведены кривые, соответствующие двум различным скоростям движения. Нижняя точка кривой отмечает время $T_0$, когда метеор проходит на кратчайшем расстоянии от наблюдателя. В виде кривой получается запись с экрана полета головной части метеора, а запись остающегося и расплывающегося следа его — в виде широкой полосы (*IV*). Примеры таких записей даны на схеме *IV* внизу, правее записи от трех метеоров, из которых только метеор *б* миновал наблюдателя и удалился. Метеоры *а* и *в* оставили за собой следы, постепенно таявшие. Фактический вид экрана радиолокатора показан на нижних фотографиях.

Наблюдения с мощными радиолокаторами позволяют наблюдать метеоры гораздо более слабые, чем те, которые видны невооруженным глазом, а тем более на фотографиях. На карточках, идущих затем в математическую обработку на автоматические машины, зарегистрированы уже многие миллионы метеоров. Сотни тысяч их наблюдались также и визуально.

Исследование метеорных тел стало теперь доступно также при помощи искусственных спутников Земли и межпланетных автоматических станций.

Мы можем на ракетах регистрировать удары метеоритов. С разными, но большими скоростями эти, чаще всего мелкие, частицы вещества бороздят Солнечную систему. Мы можем теперь определять частоту встреч с ними ракеты, их размеры, массы и их пробивную способность.

В межпланетном безвоздушном пространстве даже довольно мелкие частицы могут пробить космический корабль. Тогда они лишат его герметичности, повредят аппаратуру, могут погубить экипаж. В результате исследований на советских искусственных спутниках и космических аппаратах впервые было установлено, что эта метеорная опасность не так велика, как опасались. Спутники и станции подавали свои радиосигналы на Землю без помех в течение очень долгого времени, т. е. не были повреждены ударами метеоритов.

Для изучения межпланетных метеорных частиц применяли разные методы. Одни аппараты накапливали энергию ударов метеорных тел. Посредством запоминающих устройств и телеметрии они сообщали на Землю суммарную мощность этих ударов. Другие приборы регистрировали отдельно каждый удар или их частоту и т. д. Как и ожидали, оказалось, что чем мельче метеоры, тем их больше.

Иногда автоматические станции встречали потоки метеорных тел, циркулирующих вокруг Солнца по определенной орбите. Число их в единице объема менялось со временем. За тысячу секунд на квадратный метр отмечалось два удара частиц со средней массой около $5 \cdot 10^{-9}$ *г*, а частиц более крупных было раз в пять меньше. Однажды частота ударов возросла в 10 000 раз.

Эти мелкие и многочисленные удары регистрировались чувствительными приборами, но они не вредили межпланетной лаборатории. С более же крупными метеорными телами межпланетные станции, видимо, не сталкивались и опасность с их стороны не так уж велика. Впрочем, возможно, что сигналы межпланетной станции, запущенной в СССР в 1962 г. к Венере, прекратились досрочно вследствие столкновения ее с метеоритом.

До последнего времени энергию и массу метеорных тел приходилось рассчитывать только теоретически, исходя из определения скорости и яркости метеоров. Расчеты были очень неуверенными и разноречивыми. За пределами земной атмосферы даже крупные метеорные тела остаются невидимыми. Они там недоступны для изучения. Теперь же их энергия движения измеряется непосредственно космическими станциями.

16—18 ноября 1959 г. станция «Авангард-3» (США) отметила резкое увеличение числа метеоритных ударов, иногда до 200 за шестиминутный интервал, хотя за один из двухчасовых оборотов этого искусственного спутника Земли не было отмечено ни одного удара. Это указывает на то, что данные метеорные тела, по-видимому, принадлежавшие ежегод-

ному потоку Леонид, мало еще рассеялись поперек орбиты породившей их кометы. Всего за трое суток ударов было отмечено 2800, почти столько же, сколько за остальные 75 суток «работы» этого спутника. При относительной скорости частиц 70 *км/сек* и плотности, как у льда, их диаметр был около 7 микрон. Все эти частицы по размеру и массе были меньше тех, которые производят в атмосфере явление падающих звезд, видимых невооруженным глазом и даже в телескоп. Лучшую возможность изучить распределение по размерам и по скорости метеорных частиц в пространстве представит изучение их с поверхности Луны, где нет атмосферы. Их падения на Луну еще ни разу не причинили неприятности космонавтам, находившимся на ней длительное время. К изучению же более редких, но и более крупных метеоритных тел мы перейдем в следующей главе.



ГЛАВА 5



## НЕБЕСНЫЕ КАМНИ И ПЫЛЬ

Одно из заседаний Парижской Академии наук в 1790 г. было особенно забавным, и академики на заседании долго смеялись. Еще бы! — муниципалитет города Жульяка в Гасконии прислал в Академию протокол, будто бы 24 июля в 9 часов вечера к ним с неба упал большой камень. Добро бы еще один мэр,— по-видимому, сумасшедший,— подписал подобную нелепость, но под протоколом стоят подписи еще 300 наивных гасконцев, жителей города! «Ну, да, впрочем гасконцы известны во Франции как прирожденные хвастуны»,— решили академики и в конце заседания по предложению Бертолона вынесли постановление с выражением сожаления, что население в Жульяке имеет такого глупого мэра и что следует впредь энергичнее бороться с такими суевериями. В самом деле, материализм успешно и энергично боролся в XVIII веке с религиозным суеверием и с мистическим отношением к небу; к чему же, как не к знахарству или к невежеству следовало тогда отнести нелепые басни о падении камней с неба?

Даже известный французский химик Лавуазье, впоследствии казненный как враг народа, в 1772 г. соглашался с мнениями своих коллег, что «падения камней с неба физически невозможны».

Были, правда, случаи, когда приходилось признавать подобные события за действительные факты. Так, епископская консистория составила протокол о падении с неба двух кусков железа в Грашине

(на территории современной Югославии) 26 мая 1751 г.— первый протокол о таком событии.

Русские ученые в изучении данного вопроса оказались в первых рядах и очень рано приступили к научному исследованию камней, падающих с неба,



Рис. 99. Яркий болид (по рисунку очевидца).

собирая их, изучая их строение и обстоятельства падения.

В 1772 г. петербургский академик Паллас, путешествуя по Сибири, нашел в Красноярске удивительную глыбу, в которой камень и железо переплелись в причудливых сочетаниях и которую местные жители считали за святыню, упавшую с неба. Его поднял на вершине сопки, поросшей соснами, казак-кузнец Медведев еще в 1743 или 1749 г. В 1794 г. член-корреспондент Петербургской Академии наук,

немецкий ученый Э. Ф. Хладный, узнав об этой находке, привезенной в Петербург, смело выступил с признанием возможности падения камней с неба. Об этом русском метеорите, одном из первых, привлекших внимание ученых, Э. Ф. Хладный выпустил в Риге сочинение: «О происхождении куска железа, открытого Палласом, и о некоторых, находящихся в связи с этим явлениях природы». Он доказывал, что такие камни действительно падают и могут быть только космического происхождения. Позднее он развил эти мысли и даже связывал метеориты с кометами.

В 1794 г. упал камень в Сиене (Италия), а на следующий год в Йоркшире (Англия), что способствовало признанию взглядов Хладного большинством ученых этих стран. Во Франции же еще долго продолжали относиться к возможности такого явления с недоверием. Только в 1803 г., после падения целого дождя метеоритов в Эгле, Парижская Академия наук с двухмесячным опозданием собралась командировать на место падения физика Био, который представил обстоятельный доклад, устранивший все сомнения в том, что подобные события действительно происходят.

В 1807 г. профессор Харьковского университета А. Стойкович уже выпустил книгу с подробным научным описанием всех известных тогда метеоритов и с теоретическим обсуждением возможного их происхождения. Так с начала XIX века началось научное изучение метеоритов, задержанное тем, что никому из ученых не приходилось быть самому свидетелем таких неожиданных и редких явлений.

С распространением научных знаний наблюдения и описания падений метеоритов стали множиться.

Вот описание характерной картины падения метеорита в 1930 г., сделанное одним из очевидцев.

«20 апреля 1930 г. жители селения Старое Борискино (Поволжье) около 1 часа дня по местному времени случайно заметили летевший по небу круглый, немного меньше Луны, «огонек», летевший на высоте градусов двадцати над горизонтом. За огонь-

ком тянулась как бы «огненная веревочка». Полет болида продолжался секунд пять, и после его исчезновения в том месте, где он исчез, образовалось облачко дыма, постепенно сгущавшееся и видимое в продолжение пяти минут. Вскоре после исчезновения облачка в западной стороне раздался сильный удар, наподобие орудийного выстрела. Следом за ним послышался гул, а секунды через три после удара раздался второй, затем третий, и всего было слышно около десяти ударов, следовавших один после другого секунды через три. Удары сначала усиливались, а потом стали постепенно слабее; они как бы перемещались с западной стороны на восток, последний удар был явственно слышен из того места, где исчезли «огонек» и облачко дыма. Гул последнего удара продолжался секунд пять и утих постепенно. Секунд через 25—30 после того как утих гул, они снова услышали звук, сначала очень тихий, похожий на ветер, а потом становившийся все громче и громче; при этом он был как бы с дребезжанием (неровный) и напоминал звук от падения шрапнели. Этот звук продолжался в течение 20—25 секунд, и, наконец, словно что-то «ухнуло» — упало, раздался звук, который можно было изобразить, как «ууух».

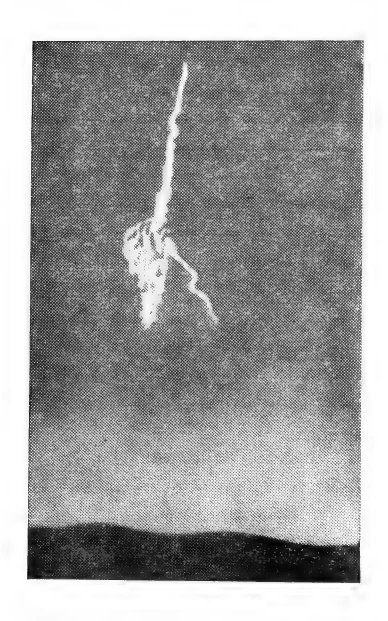


Рис. 100. Падение метеорита.

Сотрясения или дрожания земли очевидцы при этом не заметили, но явственно почувствовали, что что-то недалеко от них упало на огород; они подумали, что это упала бомба. Вместе с подбежавшими к ним взрослыми и детьми, всего человек пятьдесят,

они цепью пошли на огород, ища упавшую «бомбу». В 12 метрах от двора они заметили темное, с полметра шириною, округлое пятно. Так как перед этим дождей уже давно не было, то паханая на огороде черноземная почва сверху подсохла и посерела, и на этом сером фоне темное пятно взрыхленной влажной земли выделялось очень отчетливо. Углубления на месте пятна не было; оно было вровень с общей поверхностью. Один из свидетелей подошел вместе со всеми остальными к этому месту и стал рукой разрывать землю: земля была рыхлая. На глубине 10—12 сантиметров он почувствовал какой-то твердый предмет. Он попробовал было вынуть (выковырнуть пальцем) этот твердый предмет, но земля была плотная, и предмет не поддался. Только после того как свидетелю дали кол, он, воткнув его в землю, вытащил этот предмет. Все бывшие здесь заметили, что это был камень, а не бомба и не осколок от снаряда; это был метеорит. Он был величиною как определяют свидетели, «с овечью голову» и напоминал последнюю своей продолговатой формой. Метеорит из земли был вынут «теплым», однако его «можно было свободно держать в руках», с момента же падения прошло не больше 20 минут. Никто из бывших при раскопке метеорита и из опрошенных свидетелей не заметил возле метеорита ничего опаленного или обожженного.

Метеорит со всех сторон был оплавлен и покрыт черной корой. Трещин на метеорите никто не заметил; когда его вынули из земли, он был чистый, земля к нему не пристала, от метеорита слышался дымный запах.

Есть множество замечательных случаев падения метеоритов, но ограничимся лишь немногими из них, в том числе теми, которые стали общеизвестны лишь значительно позднее самого падения.

Так, например, выпадение метеоритов не раз отмечалось даже до нашей эры в китайских летописях. Известны случаи падения и в античный период; например, знаменитый римский естествоиспытатель

Плиний описал падение ноздреватого железного метеорита вблизи Неаполя в 79 г. нашей эры.

Неожиданный конфуз произошел с оружейниками хоросанского султана в 1009 г., когда их повелитель приказал выковать ему саблю из железного метеорита, упавшего в его владениях. Нагретое железо не поддалось ковке, что характерно для метеоритов,— оно куется только холодным, а в нагретом состоянии хрупко. Изготовить две сабли, кинжал и наконечник пики из метеоритного железа удалось, однако, в 1621 г. Джехангиру — властителю княжества Лахор в Индии.

Эскимосы в Гренландии, не имевшие понятия о железной руде, могли мастерить себе ножи из метеоритного железа, находимого ими на ледяных просторах Арктики.

Не раз выпавшие метеориты рассматривались как дар небес и были предметом религиозного культа. Для одного из таких священных камней в Риме императором Гелиогобалом был выстроен специальный храм. Черный камень в Мекке, вделанный в стену храма и являющийся величайшей мусульманской святыней, привлекающей множество паломников, по-видимому, является метеоритом, притом небольших размеров. Метеориты помещались в храмы, например, в Японии и в Эльзасе (в XV веке).

Метеорит, выпавший 7 ноября 1492 г. около города Энзисгейма на Верхнем Рейне, богомольные прихожане приковали цепями к стене церкви, чтобы дар небес не был взят обратно и не вернулся туда, откуда он был послан. Надпись, сделанная на нем современниками, замечательна по своей выразительности: «Об этом камне многие знают много, каждый что-нибудь, но никто не знает достаточно».

В известной мере такие надписи и в наши дни были бы справедливы для каждого из метеоритов, хранящихся в наших музеях.

Три описания метеоритов, содержащиеся среди других в древнерусских летописях, особенно интересны.

В 1290 г. в Северо-Двинском крае близ Великого Устюга наблюдалась уже известная нам картина



**Цветная фотография галактики в Андромеде, полученная Миллером на 5-метровом телескопе Паломарской обсерватории (США). Хорошо заметна разница между голубоватым цветом спиральных ветвей и красновато-желтым цветом центральной части.**



Туманность М 82, снятая через светофильтр, пропускающий только излучение красной линии азота.

падения метеорита, описанная в таких словах: «грому бо многу и страшну бывшу зело над градом Устюгом, яко же не слышати, что друг с другом глаголети; яко небо и земля от того страшного труса непрестанно колебатися и трястися... Многим и бесчисленным камением поломило лес и дебри овы древеса искорени избиша, а иныя вполы положиша».

Это был целый дождь, вернее, каменный град, какой бывает не часто.

В 6929 г. «от сотворения мира» (1421 г. по нашему календарю) знаменитая Никоновская летопись отметила: «В Великом Новгороде в полунощи бысть трус велий в воздухе, взыде туча с полудни темна, страшна зело, с громом страшным... и бысть дождь мног и град великий, и камение являшеся изо облака спадшее на землю... и едва людие в себе приидоша от страха оного».

«Туча с полудни» в этом описании не является, конечно, противоречием тому, что «трус» был «в полунощи», а указывает, что метеорит прилетел с юга, «с полудни», как тогда говорили,— вспомните слова индийского гостя в опере «Садко» — «не счесть жемчужин в море полуденном».

В Кирилло-Белозерском монастыре в паперти были замурованы не найденные впоследствии камни, выпавшие неподалеку 29 ноября 1662 г. Это падение описано очевидцем словами: «звезда велика, долга скоро вышла,... земля тряслась, и хоромы тряслись, и многие люди от ужасти на землю падали. А скотина всякая в кучу металась и главы на небо подняли и брычат, коя как умеет. И потом камение падало с великою яростию, великое и малое». Это был опять метеоритный дождь.

Много преувеличений и даже вымысла связано с падением метеоритов, в особенности, когда данные устанавливаются по слухам, а не опросом свидетелей, тем более с опозданием, когда свежесть воспоминаний поблекла. Ученым, собирающим сведения о падении метеоритов, всегда поэтому приходится не забывать андерсеновскую сказку «о курочке, потерявшей перышко».

К таким фантазиям следует отнести рассказы о пожарах, причиненных метеоритами, и о людях, побитых камнями, хотя последние случаи в виде редчайшего исключения могли быть. Достоверных сведений об этом во всяком случае почти нет. Известны только случаи падения метеоритов на животных: в 1836 г. в Бразилии были побиты овцы, а в 1911 г. возле Нахла в Египте метеоритом убило собаку,— и на здания: в 1684 г. один метеорит пробил купол церкви в Тобольске, в XVIII веке метеорит упал на башню баварского монастыря в Вюрцбурге и разрушил ее. Можно привести еще два-три подобных случая — и все. Интересно, что иногда наблюдается весьма небольшая скорость падения метеоритов, не вызывающая поэтому разрушительных действий. Так, например, к удивлению одной прачки, метеорит угодил ей прямо в корыто, а другой, упавший в 1927 г. и весивший, правда, всего лишь несколько граммов, запутался в складках платья маленькой японочки.

## КАМНИ НА УЧЕТЕ

Мы уже упоминали о том, что многие метеориты были обнаружены через много времени после их падения. К 1963 г. в СССР был собран 131 метеорит. Они находятся в основной своей массе в Академии наук в Москве. Одним из украшений коллекции является «Палласово железо», весившее первоначально 700 *кг*. Части его, сыгравшие большую роль в истории науки, были разосланы по заграничным музеям, и теперь от метеорита осталось только 514 *кг*. Вторым по величине в этой коллекции является метеорит, поднятый в 1937 г. близ Минска. Он уже гораздо меньше, весит 188 *кг* и принадлежит к тому же типу железокаменных метеоритов. Наибольший из каменных метеоритов упал в 1918 г. около Саратова. В этом городе он и находится. Куски, из которых он состоял, выпали на протяжении 120 *км* и имеют общий вес 221 *кг*, но наибольший осколок весит 130 *кг*.

Можно сказать, «хозяином» всех этих метеоритов является учёный секретарь комиссии по метеоритам

Академии наук Е. Л. Кринов, за свою работу удостоенный Государственной премии. Он знает историю каждого кусочка этой коллекции и многие метеориты были найдены и доставлены сюда им самим. Думаю, что если бы фантастический вихрь разметал эту коллекцию в межпланетное пространство, то Евгений Леонидович среди миллиардов носящихся там осколков тотчас же узнал бы своих беглецов.

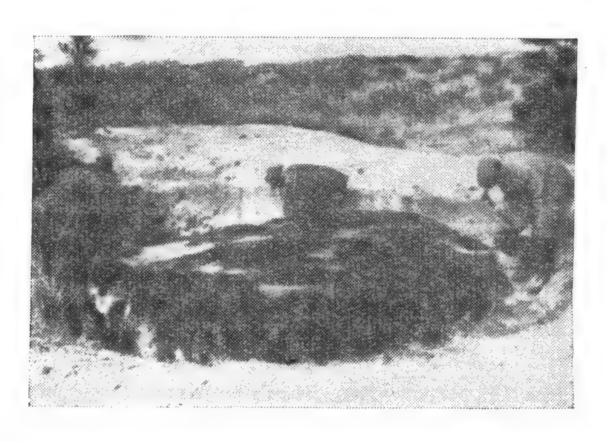


Рис. 101. Метеорит Гоба, найденный в Южной Африке,— наибольший из известных.

Самый большой из известных метеоритов откопан в местности Гоба в юго-западной Африке, где он находится и доныне, так как весит 60 тонн, и его мудрено сдвинуть с места. Он железный и необычайно богат никелем, которого там 16%, отчего резать его крайне трудно. За два дня напряженного труда с трудом удалось отпилить от метеорита ножевками, все время меняя их полотна, кусок в $2^1/_2$ *кг* для химического анализа. Размер метеорита $2^1/_2 \times 2^1/_2 \times 2$ *м*.

Второе место в мире занимает также железный метеорит Анигито (он же Тэнт или Кэп-Йорк) весом 33 *т*. Его подобрал в гренландских льдах известный путешественник Пири и в 1897 г. доставил его

в Нью-Йорк, но открыт он был еще в 1815 г., а эскимосы знали о нем еще раньше.

Третье место занимает опять-таки железный метеорит Бакубирито, весом $24^1/_2$ *т*, находящийся поныне на месте своего падения в Мексике.

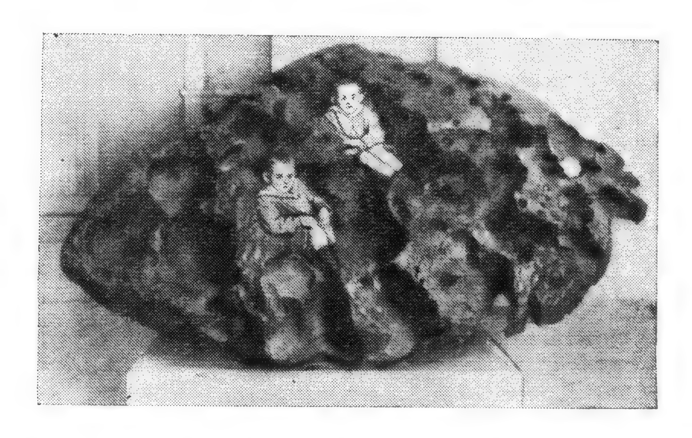


Рис. 102. Метеорит Вилламет. Полости в нем (в которых легко поместились два мальчика) образовались в результате выветривания.

Чрезвычайно интересен четвертый метеорит — Вилламет в США, весом в 14 *т*. Атмосферные влияния разрушили и выкрошили из него часть его массы; до этого он весил 25 *т*.

В очереди за этими четырьмя выстраивается еще длинный ряд железных метеоритов и редко — железокаменных. Наибольший из чисто каменных метеоритов, Фёнес-Каунти, упавший 18 февраля 1948 г. в США, стоит в этой очереди весьма далеко, так как имеет вес «всего лишь» около тонны.

Иногда сразу выпадает много кусков, которые, по-видимому, являются частями одного тела, разрушившегося в земной атмосфере. Иногда такие части можно сложить вплотную друг с другом, иногда же метеориты и до встречи с Землей летели, по-видимому, отдельно, являясь лишь попутчиками. О целых дождях камней мы уже упоминали. Это, по-видимому,

метеоритные рои, зачастую выпадающие на площади в сотни квадратных километров.

Нижеследующая таблица содержит список метеоритных дождей прошлого и текущего столетий, изученных учеными.

Если считать метеориты не поштучно, а по «падениям», то выходит, что ежедневно на Землю падает 5 или 6 (2000 в год), но наблюдаются только 2—3 в год, а иногда и ни одного, так как подавляющее большинство их падает в областях, не обитаемых людьми. Обширные арктические области и океаны занимают бо́льшую часть земной поверхности; населяющие их белые медведи, а тем более рыбы, славящиеся, как известно, своей немотой, являются частыми, но бесполезными для нас свидетелями падения метеоритов. Теперь учтите, что в пустынях, даже в степях и лесах, не так-то много людей бывает

**Метеоритные дожди**

| Место падения | Дата | Число кусков |
|---|---|---|
| Эгль (Франция) . . . . . . . | 26 апреля 1803 г. | 3 000 |
| Княгиня (Чехословакия) . . . | 9 июня 1886 г. | 1 000 |
| Пултуск (Польша) . . . . . . | 30 января 1868 г. | 3 000 |
| Гессле (Швеция) . . . . . . . | 1 января 1869 г. | 1 000 |
| Хомстэд, Айова (США) . . . | 12 февраля 1875 г. | 100 |
| Мог (Румыния) . . . . . . . | 3 февраля 1882 г. | 3 000 |
| Хольбрук, Аризона (США) . | 19 июля 1912 г. | 14 000 |
| Саратов (СССР) . . . . . . . | 6 сентября 1918 г. | 200 |
| Первомайская (СССР) . . . . | 26 декабря 1933 г. | 100 |
| Сихотэ-Алинь (СССР) . . . . | 12 февраля 1947 г. | Много тысяч |

днем, да и, увидев болид, не так-то легко бывает потом найти метеорит. Ночью же даже вблизи селений выпадение метеоритов может остаться незамеченным. Вот почему из двухсот тонн метеоритов, «приземляющихся» ежегодно, мы находим только по нескольку килограммов (в среднем). Эта оценка, конечно, приблизительна, и некоторые, например, исчисляют ежегодный метеоритный приход Земли в 2000 *т*.

Добавка к массе Земли получается главным образом в виде каменистой массы, если считать по метеоритам, падение которых наблюдалось. Среди них железные метеориты составляют только 5%, а железокаменные — $1^1/_2$%. Это и есть, вероятно, действительное соотношение числа каменных и железных метеоритов в мировом пространстве.

Между тем среди найденных метеоритов, упавших неизвестно когда, 66% составляют именно железные. Причина этого несоответствия, конечно, в том, что железные метеориты больше привлекают к себе внимания, особенно в степи, в пустыне или в лесу. Да и установить, что данный камень не земной, а небесный, зачастую может лишь специалист, и то часто только после специального исследования.

Если посмотреть на карту распределения найденных метеоритов, то она выявит странную особенность: метеориты почему-то стремятся падать в культурно обжитых местностях, преимущественно вдоль железных дорог. Причина этого, конечно, та, что чем реже население и чем менее оно культурно, тем реже бывают замечены метеориты и тем более редко найденные метеориты передаются в научные центры, т. е. регистрируются наукой.

В СССР метеориты являются собственностью государства, но за находку и доставку метеорита в Академию наук выдается премия, тогда как в капиталистическом мире собственником метеорита является собственник земли, на которую он упал. Поэтому там метеориты являются предметом коммерции, их покупают и продают, а не заинтересованные в продаже своих метеоритов люди часто из праздного любопытства уродуют метеориты — дробят их на куски, высверливают в них дыры и т. п., отчего их ценность для науки утрачивается. Жюль Верн в романе «Золотой метеорит» мастерски описал ажиотаж, поднявшийся в капиталистическом мире в связи с фантастическим падением такого метеорита. Золотой метеорит на Землю никогда не падал, и совершенно невероятно, чтобы таковой вообще где-либо существовал. Из ценных веществ в некоторых метеоритах,

как, например, в Ново-Урейском, находили алмазы, правда, микроскопические. Они были крайне ценны для науки, но по своему ничтожно малому весу никакой рыночной ценности не имели, и какой-либо тщеславной красавице бесполезно мечтать о серьгах, в которые вставлены бриллианты, упавшие с неба. Впрочем, о химическом составе метеоритов мы еще поговорим дальше, а пока что скажем немного об их внешнем виде, который помогает отличить метеориты от простых камней. К сожалению, мало кто знает об этих признаках, и автору этих строк не раз приходилось тратить впустую время на поездки и обследования, чтобы, удовлетворяя чей-либо похвальный энтузиазм, найти на том месте вместо гигантского метеорита простой валун ледниковой эпохи, а то и просто булыжник чуть ли не с мостовой.

## СТРОЕНИЕ И ВОЗРАСТ МЕТЕОРИТОВ

Железные метеориты, как уже говорилось, легче обнаруживаемые, легко ржавеют и приобретают бурый цвет. Форма их всегда неправильная, а поверхность, если она еще не успела окислиться, покрыта гладкой черной корой — окалиной. Эта тонкая корочка получается от плавления наружного слоя метеорита во время его падения в воздухе. Метеорит летит, однако, так быстро, что при сколько-нибудь значительной массе не успевает прогреться внутри, а расплавленная его поверхность застывает в тончайшую корочку уже на последней стадии его (замедленного) падения, даже до падения на землю. Температура метеорита при падении и полете почти та же, как и во время его движения мимо Земли. Это — температура тела, нагреваемого Солнцем на расстоянии Земли. Температура эта составляет около 4° выше нуля. Вопреки фантастическим рассказам, внутренность метеоритов не раскалена и не охлаждена до абсолютного нуля (т. е. до 273° мороза).

Полированная и протравленная слабой кислотой поверхность метеоритного железа покрывается рисунком, напоминающим изморозь на окнах и обус-

ловленным особенностями кристаллической структуры этого железа. Этот рисунок называют видманштеттеновыми фигурами, и он безошибочно помогает отличить метеоритное железо от самородного или от выплавленного из руды.

Каменные метеориты покрыты обычно черной же тонкой стекловидной корочкой, иногда матовой,

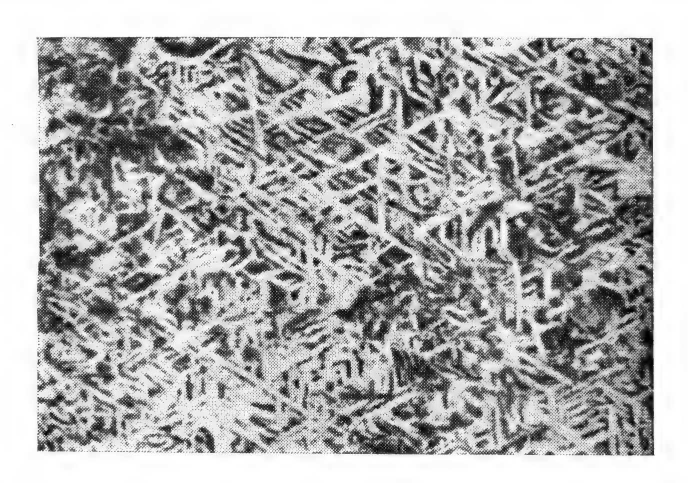


Рис. 103. Видманштеттеновы фигуры на полированной поверхности железного метеорита, протравленной кислотой.

иногда блестящей. Она выветривается и окисляется, если метеорит долго лежит на открытом воздухе или в земле, и тогда отличить метеорит от земного камня еще труднее. Внутри, на изломе, метеорит бывает разного вида. Чаще всего он серый, иногда с круглыми зернышками особого строения (их называют хондрами) и с металлическими блестками.

Полированная поверхность метеорита, рассматриваемая под микроскопом, представляет для специалиста особую характерную структуру, отличающую ее от земного камня, хотя не только химический, но и минералогический составы у них очень сходны. Таким специалистом является уже не астро-

ном, а минералог, вернее, петрограф *), и притом специально изучающий метеориты. При содействии академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана в СССР образовалась целая школа таких специалистов по метеоритам: П. Л. Драверт, П. Н. Чирвинский, Л. А. Кулик и другие. В ведении астрономов метеорит находится собственно лишь до тех пор, пока он является небесным телом, т. е. находится вне Земли. Астроном еще может встретить такого гостя на пороге своего дома — Земли, т. е. он может определить его траекторию в атмосфере, но разбираться в подробностях структуры камней — для этого надо иметь другое специальное образование и большой опыт в изучении камней и минералов. Наука петрография в итоге детального изучения метеоритов делит их по структуре на множество классов, отличающихся разными особенностями.

Когда метеорит летит в воздухе, мощный «ветер» обдувает его спереди и с боков и, оплавляя поверхность, сдувает с нее в первую очередь легко плавящиеся вещества, а также вообще сглаживает резкие грани и углы. Поэтому очертания метеорита, если он не раскололся в самом конце своего пути, более округлые, чем они у него были в безвоздушном пространстве. Воздух как бы обтачивает метеорит, но результат такой обработки зависит от скорости метеорита, от его формы, от его вращения в полете. Часто метеорит по форме похож на кусок глины, мятый пальцами. На его поверхности видны ложбинки, вдавленности, а иногда и борозды, расходящиеся во все стороны от лобовой части метеорита. Тогда сам метеорит имеет коническую форму, как головка снаряда.

О среднем химическом составе метеоритов мы еще будем говорить подробно в следующем параграфе. Химическим анализом метеоритов И. Мухин в Петербурге занимался еще до 1819 г. За последнее время установлен весьма подробно уже не только качественный, но и количественный химический

---

*) От греческого слова «петрос», что значит камень.

состав метеоритов. Увы! Эта необходимая любознательность обошлась нам весьма дорого, так как для целей такого химического анализа пришлось истребить, буквально стерев в порошок, большое количество метеоритов из музейных коллекций. Эти метеориты не могут быть подвергнуты теперь никакому другому научному изучению, и исследователи метеоритов — не химики поднимают крик: «довольно химических анализов, мы уже удовлетворены тем, что знаем о химии метеоритов! Оставьте нам что-нибудь для изучения размеров, формы и структуры метеоритов!».

Мы уже приводили средний химический состав каменных метеоритов, несколько меняющийся от метеорита к метеориту. В основном же они состоят из кислорода (36,3% по весу), железа (25,6%), кремния (18,0%) и магния (14,2%). Остальные химические элементы (всё те же, но не все те, какие нам известны на Земле) содержатся в количестве одного процента и долей процента. В общем их состав сходен с химическим составом земной коры, особенно если рассматривать глубинные горные породы. По сравнению с ними в земных горных породах больше кремния и кислорода, но меньше железа и магния. Место последнего на Земле в минералах как бы занимает алюминий, но, по-видимому, чем глубже внутрь Земли, тем больше состав земных слоев походит на состав метеоритов.

Железные метеориты, кроме железа (91%) и никеля (8%), содержат еще кобальт (0,7%), фосфор (0,2%) и в еще меньших количествах — серу, углерод, хром и медь.

Золота, о котором уже упоминалось выше, содержится всего лишь 0,0004%, т. е. если бы из всех собранных на Земле метеоритов можно было бы извлечь золото, то его не набралось бы и одного килограмма. Однако и это сделать практически невозможно, так как золото в метеоритах распылено; да и смысл в этом был бы такой же, как добывать средства к жизни продажей булавок, оброненных дачниками среди осенних листьев в лесу.

Интересно, что в 1946 г. советским петрографом Л. Г. Кваша под руководством академика А. Н. Заварицкого в одном из метеоритов было найдено 8% воды, входящей, впрочем, в состав минералов, а не свободной.

Еще меньше, чем золота, метеориты содержат радиоактивных элементов — урана, радия, тория и других, причем самого радия — 0,00000000001%, или в 20 раз меньше, чем есть его в горных породах. Однако нахождение этого ничтожного количества радиоактивных элементов в метеоритах несравненно важнее, чем нахождение в них золота или алмазов, будь их там даже в сто раз больше, чем есть в действительности.

Радиоактивные элементы и их спутник — газ гелий — заменяют для метеоритов их «метрическое свидетельство», выдавая возраст наших небесных гостей.

Уран и торий, самопроизвольно распадаясь, превращаются, как известно, в другие химические элементы, выделяя при этом тепло, электроны, рентгеновские лучи и атомы гелия. В конце же этой цепи атомных превращений лежит свинец, который уже не обнаруживает склонности распадаться дальше.

Известно также «упрямство», с которым атомы радиоактивных элементов распадаются и следуют закону этого распада, игнорируя попытки ускорить или замедлить их распад.

Сколько бы урана ни было в наличии, за 4560 миллионов лет половина его атомов распадается, т. е., например, от грамма урана через 4560 миллионов лет останется половина. Из этой половины через следующие 4560 миллионов лет останется опять половина, т. е. $^1/_4$ *г*. То же проделывает и торий, но более лениво, распадаясь наполовину за 13 000 миллионов лет, а радий (промежуточный продукт распада урана), наоборот, гораздо более энергично: уже через 1600 лет от него останется только половина.

Легкие атомы гелия, выбрасываясь из недр тяжелых атомов радиоактивных элементов, накапливаются

в твердой массе, их содержащей. Нетрудно определить, сколько гелия должно накопиться в результате распада, скажем, 1 *г* урана. Но в таком случае легко подсчитать, сколько же времени длится распад урана в данном камне, если к настоящему времени его в камне столько-то граммов, а гелия столько-то граммов. Очевидно, торий и уран распадаются в каждом камне столько времени, сколько они в нем находятся, т. е. с того времени, как камень образовался, скажем, после того как он затвердел из расплавленной массы, из которой гелий не мог улетучиваться и из которой уран тоже не мог как-либо удалиться. После затвердения каменистой массы уран и продукты его распада оказались пожизненно заключенными в нее, как в тюрьму.

Таким образом, соотношение гелия и урана, находимых в камне, определяет возраст камня и притом с относительной точностью, пожалуй, большей той, с какой мы можем по виду человека оценить его возраст.

Этим способом определен возраст разных земных горных пород и найдено, что самые древние из них в земной коре имеют возраст в 3—$3^1/_2$ миллиарда лет. Таков же и возраст твердой земной коры, возраст весьма почтенный.

Панет и его сотрудники проделали чрезвычайно трудное определение содержания урана и гелия во многих метеоритах,— трудное потому, что их там крайне мало. Полученные результаты для нескольких десятков метеоритов привели к неожиданному заключению.

Оказалось, что «возрасты» метеоритов заключены в пределах от 60 до 7600 миллионов лет! Казалось, ученым удалось заполучить в руки совсем «молодые» небесные тела, поскольку 60 миллионов лет для небесного тела — это прямо-таки младенческий возраст.

Но вскоре выяснилось, что удивительный разброс возрастов метеоритов объясняется не реальной разницей во времени их «жизни», а просто различием в «условиях существования». Дело в том, что отно-

шение гелия и свинца в метеорите зависит не только от его возраста, но и от интенсивности облучения метеоритов космическими лучами — потоком частиц огромной энергии. Разделить гелий «космического» и «внутреннего» происхождения оказалось не так-то просто. Когда же это удалось, то возрасты метеоритов оказались куда более сходными: от $2^1/_2$ до 4 миллиардов лет.

Мы не говорили, между прочим, еще ничего о минералогической и петрографической структуре пришельцев с неба.

Действительно, одни и те же атомы могут образовать различные молекулы, соединяясь в разных комбинациях, и тем более из них могут быть построены более сложные соединения, называемые минералами.

Основные минералы, из которых состоят каменные метеориты, известны и широко распространены на Земле. Надеюсь не утомить вас, перечислив, например, такие, как оливин, пироксен, полевой шпат, плагиоклаз, никелистое железо. Многих земных минералов в метеоритах, однако, и нет, например, ортоклаза и слюды, хотя они так часты на Земле.

Зато метеориты знакомят нас с минералами, почему-то не образующимися на Земле, которые назвали по имени ученых, их обнаруживших. Это — шрейберзит, добрэелит, муассанит и др.

Результаты исследования химического и минералогического состава метеоритов подтверждают очень важный философский вывод о материальном единстве Вселенной. За пределами Земли мы встречаем, например, те же химические элементы, которые великий Менделеев расположил в свою таблицу, и те, которые к ней были добавлены позднее. Законы химии оказываются справедливыми не только на той планете, где они были установлены. И в то же время в природе нет того утомительного однообразия, к которому ее пытались свести метафизически мыслящие люди. Минералогические разнообразия в метеоритах, наличие в них минералов, не встречающихся на поверхности Земли, — один из ярких примеров

многообразия природы, обусловленного бесконечным качественным разнообразием движений, процессов, происходящих в вечно существующей и вечно меняющейся материи.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМЛИ И МЕТЕОРИТОВ

Мы знаем, что в метеоритах не встречается таких химических элементов, каких нет на Земле, но в какой мере количественная пропорция разных химических элементов в Земле и в метеоритах сходна?

К сожалению, анализировать состав Земли, недра которой от нас скрыты, очень трудно. Даже при вулканических извержениях на поверхность изливаются сравнительно неглубоко лежащие массы. Из чего состоят недра Земли, можно судить только косвенно, изучая степень сжатия Земли, небольшие периодические изменения ее формы под действием притяжения Луны и Солнца и главным образом изучая распространение в ее толще тех колебаний, которые возникают при землетрясениях. При этом выясняются твердость и упругость земных недр, изменение плотности в них и сама плотность. Кроме того, обнаружено, что в земной коре более глубокие породы богаче железом.

Совокупность этих данных и разные другие соображения приводили к заключению, что наша Земля имеет железистое плотное ядро, окруженное каменистой оболочкой, твердой лишь снаружи. Толщина этой твердой корки не превышает 200 *км*.

Наша Земля — это, если хотите, вишня с плотным ядром-«косточкой», только ее каменная «мякоть» действительно своего рода мякоть, она пластична, да и ядро, будучи очень плотным, все же не является твердым в обычном смысле. Вещество в недрах Земли находится в совершенно особом состоянии под действием высокой температуры и огромного давления. Мы еще не можем в лаборатории создать искусственно такие условия и привести вещество в такое состояние, в котором находятся недра земного шара.

В целом земной шар отзывается на быстрые внешние воздействия как стальной шарик, а на медленные, но упорные воздействия отзывается как комок глины или даже как пузырь, наполненный водой. Таким образом, Земля сочетает упругие свойства со свойствами пластическими.

При подсчете среднего химического состава Земли мы должны учесть, что состав земной коры с ее средней плотностью около 2,7 *г/см*³ не представляет состава всей Земли в целом, имеющей среднюю плотность 5,5 *г/см*³, что вызвано увеличением плотности с глубиной, доходящей в центральном земном ядре до 11 *г/см*³.

Средний химический состав Земли, как его оценивал академик Ферсман, приведен в таблице в сопоставлении со средним составом метеоритов (в процентах по весу).

| Элемент | Земля в целом | Средний состав метеоритов | Элемент | Земля в целом | Средний состав метеоритов |
|---|---|---|---|---|---|
| Железо . . | 37,6 | 38,0 | Никель . . | 3,0 | 2,8 |
| Кислород | 29,0 | 29,0 | Кальций | 2,0 | 1,1 |
| Кремний | 14,5 | 14,4 | Сера . . . | 1,5 | 1,9 |
| Магний . . | 9,2 | 11,0 | Алюминий | 1,5 | 0,6 |

Остальные химические элементы составляют по весу значительно менее 1% каждый.

Правда, приведенный средний (предполагаемый) состав Земли установлен с учетом среднего состава метеоритов, падающих на Землю.

Таким образом, эти подсчеты используют мысль, что химический состав разных небесных тел должен быть сходен, но при составлении этой таблички для Земли в расчет принимались не только метеориты, как это мы сейчас увидим.

Вот для примера два более «чистых» сопоставления.

При составлении нашей таблички, дающей средний состав метеоритов, принято, что в мировом про-

странстве каменных метеоритов в 4 раза больше, чем железных, потому что таково примерно их соотношение при падении на Землю сейчас. В силу одного этого среди метеоритов на железо по весу приходится 38%. Ядро Земли, которое по его упругим свойствам в основном можно было бы считать тоже железным, имеет диаметр 3500 *км*, что установлено довольно точно. При плотности 11 *г/см*$^3$ это дает около $^1/_3$ от общей массы Земли, т. е. мы видим, что без всяких предположений главный (по весу) химический элемент — железо — занимает одинаковое место как в Земле, так и в общей массе метеоритов.

Впрочем, в последнее время приходят к выводу, что содержание железа в Земле и метеоритах в среднем меньше, чем указано, и что большая плотность земного ядра в основном обусловлена не преобладанием железа, а давлением.

В самой каменистой коре можно ожидать некоторого увеличения процентного содержания железа по мере опускания в глубину, что и наблюдается. Если не привлекать к рассмотрению менее изученные глубинные породы, так называемые перидотитовые, и ограничиться содержащими наименьший процент железа гранитными породами (верхней частью земной коры, имеющей толщину около 20 *км*) и платобазальтовыми породами (слой толщиной 40 *км*, лежащий глубже), то мы можем получить данные, приведенные в табличке.

| Элемент | Средний состав каменных метеоритов | Земная кора | |
|---|---|---|---|
| | | граниты | базальты |
| Кислород | 36,3 | 46,6 | 44,3 |
| Железо | 25,6 | 5,02 | 10,4 |
| Кремний | 18,0 | 27,7 | 23,9 |
| Магний | 14,2 | 2,1 | 3,8 |
| Алюминий | 1,5 | 8,1 | 7,0 |
| Никель | 1,4 | — | — |
| Кальций | 1,3 | 3,7 | 6,9 |
| Натрий | 0,6 | 2,8 | 1,9 |

Из этой таблички следует, что сходство химического состава земной коры и каменных метеоритов весьма велико. Остальные химические элементы содержатся в меньших количествах.

Земная кора содержит радиоактивные элементы, такие, как уран и торий, и тепло, выделяющееся при их распаде, создает то повышение температуры с глубиной, которое наблюдается при опускании в шахту.

В среднем на каждые 100 *м* глубины температура поднимается на 3°, а иногда и больше, так что, например, спускаясь на Урале в жестокий мороз в шахту, автор обливался потом от жары. Если бы так продолжалось до самого центра Земли, то мы нашли бы там температуру выше, чем на Солнце, чего, как уже говорилось, нет. По-видимому, температура в центре Земли доходит всего лишь до 2000° и постепенно падает наружу, причем тем быстрее, чем ближе к поверхности, через которую Земля теряет тепло в пространство.

Радиоактивные элементы содержатся только в земной коре, и более глубокие породы содержат их меньше. Внутри Земли теплота накапливается, а с поверхности теряется. Возможно, что в общем Земля медленно разогревается.

## В ПОИСКАХ РОДИТЕЛЕЙ

Ключ к разгадке происхождения метеоритов состоит, однако, не в минералогическом строении метеоритов, а в закономерностях, согласно которым эти минералы сочетаются, определяя структуру метеорита.

Выяснилось, что химические элементы, из которых состоят метеориты, в точности те же, что земные, что минералы, входящие в состав метеоритов, в большинстве известны нам и на Земле, но петрографически эти тела уже сильно отличаются от земных горных пород. Прежде всего, в метеоритах нет осадочных горных пород, таких, как песчаники и известняки, образовавшиеся от напластования песка и раковин на дне моря и сцементированные под сильным

давлением. Известняк даже органического происхождения — он составлен из скорлупок некогда живших существ; в метеоритах же не нашли никаких признаков чего-либо живого или жившего. В них нет даже бактерий, от которых на поверхности Земли почти невозможно избавиться.

Большинство каменных метеоритов (хондриты) содержит множество мелких шариков, похожих на застывшие капельки стекла и называемых хондрами.

3 % каменных метеоритов, как будто ничем особым по своей структуре не выделяющихся, имеют черный цвет. Вероятно, это является результатом того, что когда-то они были сильно прогреты, не так, как они нагреваются с поверхности во время полета в нашей атмосфере, а насквозь.

Лабораторные опыты показали, что при нагревании до 800° в течение нескольких минут серые метеориты становятся черными.

Чтобы Солнце нагрело их до 800°C, метеориты должны подойти к нему в десять раз ближе, чем Земля. Следовательно, орбиты многих из них, если не большинства, должны иметь перигелии, лежащие внутри орбиты Земли. К сожалению, не в пример орбитам метеоров, мы не знаем как следует орбит метеоритов. Если окажется, что орбиты метеоритов такой особенностью не обладают, то придется допустить, что эти орбиты ею обладали раньше и лишь вследствие возмущений от планет в течение миллионов лет значительно изменили свой характер.

Быть может, можно предположить, что такое прогревание постигало метеориты вблизи какой-либо звезды, если они не были членами Солнечной системы. Зная расстояние между звездами, можно подсчитать, что тесное сближение со звездой, достаточное для такого нагревания, может случиться с метеоритом однажды в миллиарды миллиардов лет. Однако возраст метеоритов гораздо меньше, следовательно, наше предположение мало вероятно.

Незнание точных метеоритных орбит затрудняет решение вопроса о происхождении метеоритов, о том, какие небесные тела были их «родителями». В этом

отношении петрографу и геологу принадлежит, пожалуй, более значительная роль, чем астроному. Последний может сказать лишь следующее.

Если не все метеоры, то по крайней мере метеоры потоков связаны с кометами, и среди метеоров есть большое различие в размерах и массе. Метеориты по своим размерам примыкают к метеорам, так как иногда на Землю оседает космическая пыль микроскопических размеров. Трудно также думать, чтобы ядро кометы состояло только из мелких частиц и не включало камней размером с метеориты. Но если так, то метеорные дожди, казалось бы, должны были сопровождаться падением метеоритов. Между тем падение тех и других никакой взаимной связи не обнаруживает.

Судя по спектрам метеоров, те, которые несомненно происходят от комет,— каменные. Можно было бы поэтому причислить каменные метеориты к остаткам комет, а железные метеориты вместе с железными метеорами относить к другому первоисточнику. Все же и в этом случае только что сделанное замечание мешает связать метеориты с кометами и, кроме того, остается неясным происхождение железокаменных метеоритов, в которых каменистая масса имеет то же строение, что и в чисто каменных метеоритах.

Постепенность перехода от метеоритов, почти не содержащих металла, к тем, которые им богаты, и через железокаменные к железным метеоритам заставляет петрографа искать у них у всех общее происхождение. Структура камня и характер кристаллизации железа в метеоритах заставляют считать, что причиной их могло быть только медленное застывание вещества, находящегося в жидком состоянии.

Уже давно распространено мнение, поддержанное академиком А. Н. Заварицким, что метеориты являются осколками погибшего при катастрофе небесного тела — планеты, сходной по размерам и по массе с нашей Землей. Была ли эта планета на месте нынешних астероидов, которые являются лишь более крупными ее осколками, или трагедия произошла

вне Солнечной системы, сказать окончательно невозможно, но первое гораздо вероятнее. Есть разные предположения о причинах катастрофы, погубившей планету, некогда помещавшуюся между Марсом и Юпитером.

Ряд данных приводил к заключению, что недра Земли состоят из спрессованной железистой массы, нагретой до состояния, в котором она имеет во многом сходство с жидкостью. От центра к поверхности количество железа уменьшается и к нему все больше примешивается каменистой массы. Эта смесь находится тоже в нагретом и пластичном состоянии. Ближе к земной твердой коре состав пород близок, как уже отмечалось, к составу каменных метеоритов.

Впрочем, к вопросу о строении земных недр мы еще вернемся.

Остывание Земли с поверхности должно было приводить сначала к образованию тугоплавких плотных минералов — оливина и пироксена, которые перемешивались с остальной еще пластичной массой и при разных медленных движениях могли попадать даже в железистую среду. Больше всего перемешиваний застывших камней с пластичным металлом происходило в средних слоях Земли. Последовательность метеоритных структур слишком полна, чтобы ее считать случайной, и очень похожа на вероятную последовательность соотношений камня и металлов при переходе от центра застывающей Земли к ее поверхности. Лишь в недрах Земли и могли возникнуть крупные кристаллы железа, характерные для метеоритов. Возраст горных пород различен в зависимости от времени их формирования, и если взрыв от неизвестной причины разметал некогда планету, подобную Земле, то в результате и должны получиться отдельные куски всевозможных размеров неправильной формы с различным содержанием железа и с кажущимся различием в возрасте. Наибольшие из них — это астероиды, среди которых недавно открыты такие, которые и по размерам и по вытянутости своих орбит, пересекающих орбиту Земли, приближаются к метеоритам. От последних же можно перейти к спорадичес-

ким метеорам. Характерно, как кажется автору этой книги, что наиболее вытянутые орбиты имеют как раз только маленькие астероиды, которые и при взрыве могли получить наибольшие «боковые» толчки и движение которых возмущается легче и сильнее. От обеих причин орбиты некоторых из них и должны были стать наиболее отличными от орбиты погибшей планеты, обращавшейся между Марсом и Юпитером.

От Земли, через Венеру, Марс и Меркурий к Луне мы переходим параллельно с уменьшением размеров к уменьшению средней плотности планет, доходящей у Луны до 3,3. Так как самые легкие и внешние, части земной коры, как и каменные метеориты, имеют плотность около 2,7, то, очевидно, с уменьшением размеров планеты еще быстрее уменьшается размер их железного ядра, и потому погибшая планета не могла быть много меньше Земли. Иначе ее недр не хватило бы на образование большого числа железных метеоритов, о метеоритах же, являющихся по своей массе промежуточным звеном между обычными метеоритами и мелкими астероидами, мы сейчас и расскажем.

## ОВРАГ ДЬЯВОЛА

Все образования на земной поверхности: горы, овраги, ущелья и озера — все это результаты либо внутренней деятельности Земли, либо деятельности воды и воздуха на ее поверхности. В общем, мы вправе сказать, что Земля сама себе придала ту физиономию, которая нам так знакома. Печатью легло на нее ее бурное прошлое. Тогда из ее недр чаще, чем теперь, выливались потоки раскаленной лавы и другие расплавленные горные породы. Неустанная работа воды и ветра разрушает горы и сглаживает следы этого прошлого, хотя и сейчас по временам дают о себе знать судороги земной коры, неприятно ощущаемые нами в форме разрушительных землетрясений; эти землетрясения являются в то же время созидательными процессами, воздвигающими новые горы или ведущими к опусканию почвы. Образование какого-либо

кряжа высотой в тысячи метров сопровождается, конечно, множеством землетрясений в течение миллионов лет.

Каждому из образований земной поверхности геологи могут дать объяснение, но перед одним из них они были поставлены втупик.

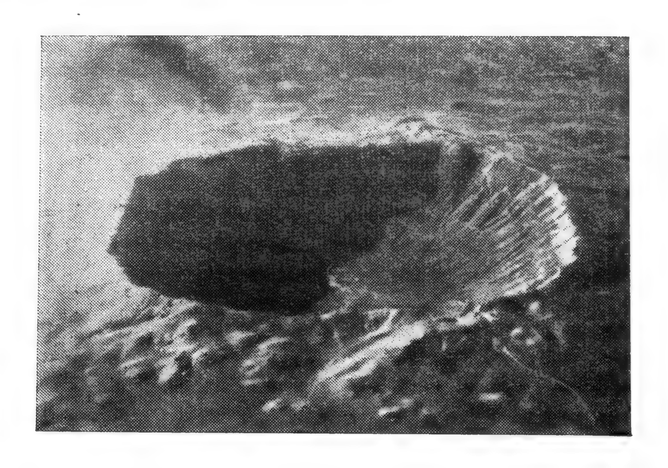


Рис. 104. «Каньон Дьявола» — Аризонский метеоритный кратер (Вид с самолета).

Представьте себе, что на обширной и пустынной равнине, где в течение миллионов лет не происходило никаких землетрясений или извержений вулканов, раскинулся огромный кратер. Он не похож на кратеры вулканов — эти сравнительно небольшие воронки, находящиеся на вершине высоких конусообразных гор. Возле него нет ни потоков лавы, ни каких-либо других следов вулканической деятельности.

В штате Аризона (США) на высоком плоскогорье, составленном из горизонтально лежащих пластов известняка и песчаника, раскинулся широким кольцом каменный вал, окружающий воронку диаметром 1200 *м*. Дно ее лежит на 180 *м* ниже окружающего ее вала, а стены каменного вала возвышаются над равниной на 45 *м*. Огромная воронка была образована ка-

ким-то грандиозным взрывом, так как вал состоит из мощных каменных пластов известняка и песчаника, разломанных с чудовищной силой и вывернутых наружу. В южной части вала каменная плита длиной до 500 *м* поставлена даже вертикально, возвышаясь на 32 *м* над горизонтальными пластами тех же осадочных горных пород. Вал кратера, его стенки и дно завалены грудами каменных обломков, среди которых в изобилии встречаются ржавые куски железа.

Окрестности и дно кратера заполнены слоем «горной муки» — тончайшей известковой и песчаной пыли, следами чудовищного измельчения камней от какого-то удара. Еще интереснее, что многие камни в кратере обнаруживают следы плавления под действием высокой температуры и в них находят вдавленные частицы никелистого железа. Обломки скал весом до 700 *т* разбросаны кругом кратера на расстояние до 10 *км*.

«Каньон Дьявола» — вот как прозвали это место окрестные индейцы племени Навахо. У них существует легенда, что когда-то давным-давно здесь к ним сошел с неба на Землю огненный бог.

Только в 1891 г. Каньон Дьявола обратил на себя внимание ученых, и возникла мысль, что этот огромный кратер катастрофического происхождения, необъяснимый никакими геологическими процессами, возник в результате падения гигантского метеорита. Исследования неправильных кусочков железа, встречающихся вперемежку с камнями вокруг кратера, а в особенности внутри него, подтвердили, что это метеоритное железо, так как об этом говорили не только их обломочная форма, но видманштеттеновы фигуры, выступавшие на их поверхности после полировки и протравки кислотой.

Тысячи кусков метеоритного железа были найдены на расстоянии до нескольких километров от кратера. Вес их колебался от нескольких граммов до 500 *кг*, причем множество мельчайших из них уже давно проржавело насквозь и рассыпалось. К настоящему времени коллекционеры-энтузиасты подобрали почти все, что еще можно было найти на поверхности, а еще

раньше окрестные индейцы выбрали наиболее крупные куски для разных поделок. Сейчас с помощью электрической и магнитной разведки, применяемой при розысках руд, обнаруживают, а затем и извлекают куски железа, похороненные на глубине от 2 до 3 *м*.

Однако ни гигантского метеорита, ни больших кусков его, которые своим падением могли бы образовать эту воронку, в кратере не было найдено. Это навело на мысль, что основная масса метеорита, сделавшая своим ударом эту гигантскую воронку, углубилась в каменные слои, из которых сложено плоскогорье, и лежит под центром кратера, похороненная под обломками камней.

Нахождение огромного метеорита, зарывшегося здесь, представило бы огромный научный интерес. Для этого нужно было произвести глубокое бурение, но у американских научных организаций не нашлось для этого достаточных средств.

Поэтому исследователь этого кратера Барринджер постарался заинтересовать некоторых американских капиталистов и убедить их, что огромная масса метеорита, состоящая из чистого железа, представляет большую коммерческую ценность. На Земле чистое железо в самородном состоянии не встречается, и эксплуатация метеорита могла бы стать прибыльным делом. Так организовалась акционерная компания, отпустившая средства на производство бурения.

Алмазный бур вгрызся в каменную массу, лежащую в центре кратера. В нескольких местах буром была пройдена глубина, доходившая до 300 *м*. И во всех этих случаях бур извлекал наружу сначала измельченный и превращенный в пыль песчаник, содержавший железные осколки, но в тем меньшей пропорции, чем глубже опускался бур. Наконец, бур доходил до цельных горизонтально лежащих сплошных пластов белого, а затем и красного песчаника, очевидно, не потревоженных падением метеорита. Метеорит не был найден...

Каньон Дьявола, приоткрыв завесу над тайной своего происхождения, снова ее опустил...

После такой неудачи Барринджер, однако, не пал духом. Он обратил внимание на то, что падающие снаряды при взрыве, а также и пули, падающие в пыль, производят круглые воронки независимо от того, под каким углом к поверхности они упали. Это внушило мысль, что метеорит мог упасть на Землю под углом и зарыться не в середине кратера, а в стороне, может быть, даже где-нибудь под окружающим его валом. Было еще замечено, что приподнятые слои известняка, образующие основание вала, в северной его части наклонены только на 5°; к востоку и к западу наклон слоев неуклонно возрастает, и в южной части кратера слои поставлены совершенно вертикально. По-видимому, метеорит летел с севера на юг под довольно острым углом к горизонту и, вызвав наибольшее разрушение впереди себя — на южной стороне, проник под южный вал и зарылся там. Этот вывод подтверждал и результат первых бурений. Бурения, сделанные на дне кратера южнее, обнаруживали непотревоженные пласты песчаника на большой глубине.

Картина, вскрытая при новом бурении, сделанном в южном валу кратера, оказалась совершенно иной. Сначала бур прошел наклоненные, но целые пласты песчаника, потом он погрузился в обломочную массу, и, начиная с глубины 385 *м*, количество попадающихся метеоритных частиц стало быстро возрастать. На глубине 410 *м* содержалось уже 75% никелистого железа, оказывавшего огромное сопротивление при бурении. Еще через десяток метров бур застрял в этой массе, сломался и поныне остался там. Решили, что бур наткнулся тут на основную массу метеорита. Это было в 1927 г.

К сожалению, дальнейшие работы были прекращены, так как метеорит оказался на неожиданно большой глубине, и для его эксплуатации пришлось бы делать глубокую боковую шахту, отводя встретившиеся подземные воды. Устройство такой шахты было бы дорогим делом и не оправдало бы прибыль от извлечения железа, поэтому разочарованные капиталисты — члены этого акционерного общества по

наживе на метеорите, мало заинтересованные в успехах науки, прекратили отпуск средств. Начатые было работы по проведению шахты и так обошлись уже в 300 000 долларов.

Аризонский гигантский метеорит, вырывший небывалый на Земле кратер, напоминающий лунные горы, как полагали, был найден, но оставлен похороненным на месте своего падения. Впрочем, мнения

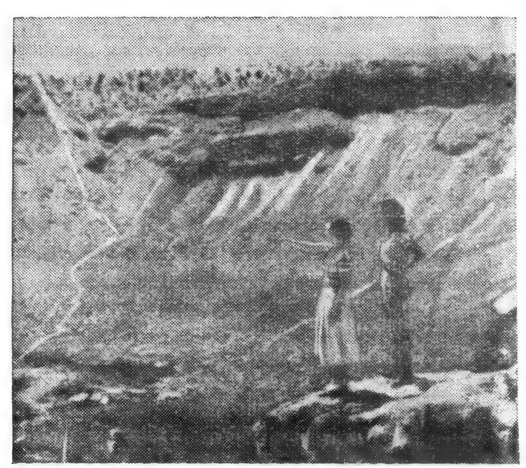


Рис. 105. Внутри Аризонского кратера.

специалистов по этому вопросу несколько различны, и, как увидим дальше, большинство полагает, что метеорит распылился и что под валом кратера ничего нет.

Как давно упал здесь метеорит? Об этом можно лишь гадать, судя по степени окисленности находимых метеоритов, по степени разрушения кратера под действием воды и ветра. По-видимому, необычное событие произошло не менее 5000 лет назад.

## ДРУГИЕ МЕТЕОРИТНЫЕ КРАТЕРЫ

Успех исследования Аризонского метеоритного кратера подтолкнул энергию и воображение ученых во всех странах, и за последующие 25 лет был открыт и исследован еще целый ряд кратеров, также имеющих

метеоритное происхождение. Они не так велики, как Аризонский, но изучение их очень расширяет наши представления о поведении небесных странников, находящих, наконец, вечное успокоение на нашей планете. Миллионы или даже миллиарды лет странствовали они в безвоздушном пространстве и, сверкнув ярким фейерверком в нашей атмосфере, породили на поверхности Земли редкое образование, изменили ее рельеф, а осколки их оказались погребенными под продуктами вызванного ими разрушения. Так как эти новые данные еще мало известны и вместе с тем очень любопытны, то на них стоит немного остановиться.

Прежде всего в той же Северной Америке в штате Техас, в 14 *км* от местечка, которому какие-то дореволюционные эмигранты из Одессы присвоили наименование своего родного города, в 1921 г. был найден кратер диаметром 162 *м*. Края его не очень обрывисты и глубина его достигает лишь 5 *м*. Дно и края тоже засыпаны обломками известняка и песчаника, и среди них было найдено много кусков метеоритного железа. Позднее с помощью сильных магнитов из обломочного материала было извлечено еще полторы тысячи железных осколков. На краях кратера вывернутые взрывом слои камня имеют наклон до 30°.

В штате Канзас около Брэнхема еще в 1885 г. на площади в несколько квадратных километров было подобрано около тонны железных метеоритов. Однако лишь в 1933 г. в этой местности заметили углубление продолговатой формы ($11 \times 17$ *м*) и глубиной 3 *м*. Внутри кратера было найдено несколько метеоритов весом до 25 *кг* и сотни частично окисленных кусочков.

Южная Америка в географическом отношении изучена хуже, чем Северная, и, может быть, только поэтому там обнаружен пока только один след падения крупного метеорита.

В Аргентине, в Кампо-дель-Сьело («Звездное поле»), с 1576 г. известна группа круглых впадин, из которых наибольшая имеет диаметр около 70 *м* с валом высотой в 1 *м*. Вблизи них найдено свыше тонны

метеоритного вещества. Недавно в одном из кратеров диаметром 53 *м* и глубиной 5 *м* были произведены раскопки, при которых были найдены стекловидные куски оплавленного камня и кусочки метеоритного железа, совершенно тождественные с теми, какие были найдены в Аризонском кратере.

В Европе, почти каждый клочок которой хорошо известен, найдена только одна группа метеоритных кратеров; она находится на маленьком острове Саарема (Эзель) в Эстонской ССР. Шесть этих кратеров, известных уже более столетия, только недавно подверглись научному изучению. Наибольший из них заполнен водой. Это озеро имеет размеры 90×110 *м* с краями, поднимающимися на 6 *м* над окружающей местностью. На склонах вала и в меньших кратерах много горной муки и обломков камня. Кратеры почти круглые и диаметры их: 35, 33, 20 и 10 *м*. Шестой кратер овальный (53×36 *м*) и образован, по-видимому, из двух налегающих друг на друга круглых углублений. Валы всех кратеров образованы вывороченными изнутри и сломанными пластами известняка, наклоненными от центра к периферии на углы от 30 до 40 градусов. На дне наименьшего из кратеров после удаления обломков найдено углубление в $^1/_2$ *м* глубиной с оплавленными краями. В 1937 г. после тщательных раскопок и поисков было найдено 110 *г* метеоритного железа в 28 кусочках. Это устранило всякие сомнения в метеоритном происхождении кратеров. Жалкий вес найденного метеоритного вещества надо объяснить, по-видимому, тем, что население острова, возделывающее почву вокруг этих кратеров, давно уже разобрало все более или менее обратившие на себя внимание куски железа. Так заселенность местности способствует обнаружению метеоритных кратеров и в то же время уничтожению следов события. Будь эти кратеры в пустынной местности, их бы долго не знали, но следы падения сохранились бы в большей неприкосновенности и позволили бы науке подробнее и точнее воспроизвести картину возникновения этих редких удивительных образований. Ученый часто оказывается в положении следователя, которому для

воссоздания картины преступления, происшедшего без свидетелей, важно, чтобы на месте преступления все оставалось неприкосновенным.

Не удивительно поэтому, что большинство известных ныне кратеров метеоритного происхождения найдено преимущественно в пустынных местностях.

Таковы, например, Аравийские и Австралийские кратеры.

В обширной аравийской пустыне Вабар, в местности Руб-аль-Хали, где в древности кочевали воинственные бедуины, расположена группа кратеров. Найдена она была при поисках легендарного города «Вабар», уничтоженного, по преданию, «небесным огнем» за грехи его жителей. Стены этого «города» оказались валами метеоритных кратеров, из которых видны два, а остальные, вероятно, засыпаны зыбучими песками пустыни. Наибольший из них имеет около сотни метров в поперечнике и глубину 12 *м*, а другой $40 \times 55$ *м*, но и они частично засыпаны песком.

По соседству с кратерами найдены железные метеориты — наибольший весом 11 *кг*, и стекловидные массы, получившиеся при плавлении песка под действием высокой температуры, развившейся при ударе метеорита. В этих стекловидных каплях вкраплены частички никелистого железа.

Получить понятие о высокой температуре, развитой при ударе метеорита, можно, вспомнив, что железо плавится при 1535° С, кремний плавится при 1710° С. Таким образом, стекловидные капли и оплавленные куски камней, найденные в метеоритных кратерах, показывают, что при ударе больших метеоритов энергия их движения частично переходит в тепло и температура поднимается до 1500°. Конечно, такая температура поддерживается очень недолго, и расплавившиеся вещества почти тотчас же затвердевают.

Австралийские кратеры в районе Хэнбери были открыты в 1931 г. На площади $1^1/_4$ *км*$^2$ обнаружено 13 кратеров размером до $200 \times 110$ *м*, остальные — круглые диаметром от 9 до 18 *м*. Наибольший имеет

глубину до 15 *м*. В наименьшем из них найдено четыре части железного метеорита весом 200 *кг* на глубине 3 *м* ниже дна кратера. В других местах было подобрано еще свыше 800 мелких метеоритов.

В этих кратерах, как и в прежних, встречаются горная мука, искривленные и перевитые осколки горных пород и оплавленный песок в виде стеклянных капель и нитей, разбросанных на расстояние до $1^1/_2$ *км*.

У окрестных туземных племен существует страх перед этой местностью, и они ее называют «дьявольским камнем летящего солнечного огня». Это название, так же как легенда индейцев о Каньоне Дьявола и о городе Вабаре у арабов, напоминает о полете раскаленного болида. Между тем все эти кратеры возникли очень давно, вероятно, тысячи лет назад. Перед историками и энтографами тут возникает интересный пример того, как долго могут храниться и передаваться устные легенды.

В 300 *км* от Хэнбери, в Боксхоле, совсем недавно был открыт еще один кратер диаметром 175 *м*, глубиной от 10 до 16 *м* с валом, возвыщающимся на 5 *м*. Он сильно разрушен атмосферным воздействием и, вероятно, очень древен. В 1937 г. там был найден железный метеорит весом 82 *кг* и заржавевшие осколки меньшего веса.

Возле Далгаранжа в Австралии в 1923 г. был открыт кратер диаметром 70 *м* и глубиной 5 *м*. Вокруг него найдены причудливо искривленные куски метеоритного железа. В 1948 г. в Австралии открыт еще кратер Вольф-Крик диаметром 840 *м*. Вал его возвышается над местностью на 30 *м*, а дно лежит на столько же ниже.

В 1946 г. в Канаде был открыт крупнейший в мире метеоритный кратер, получивший название кратер Чабб. Он имеет в диаметре примерно 3,5 *км* и глубину не менее 500 *м*.

В исторические времена, и даже совсем недавно, зарегистрированы только два случая падений громадных метеоритов,— это падение Сибирского или, как его еще называют, Тунгусского метеорита и падение Сихотэ-Алинского метеорита.

## ТУНГУССКИЙ МЕТЕОРИТ

К сожалению, и в этом случае научно подготовленных наблюдателей необычайного явления не было. К сожалению..., а, впрочем, может быть, к счастью для этих предполагаемых наблюдателей. Одного пастуха-эвенка, бывшего свидетелем падения метеорита, воздушной волной подбросило высоко в воздух, а потом ударило об землю, как при взрыве бомбы. Про него говорили, что от удара и испуга бедняга лишился языка, и когда Л. А. Кулик — исследователь Тунгусского метеорита — нашел этого человека, то этот наиболее ценный свидетель необычайного происшествия не смог дать свои показания. Самое падение метеорита произошло 30 июня 1908 г. в глухой болотистой тайге, близ реки Подкаменная Тунгуска, в сотнях километров от железной дороги. Оно не привлекло к себе внимания царского правительства, и научное изучение обстоятельств этого падения началось только после Октябрьской революции.

Грандиозность явления и то, что оно произошло в нашу эпоху, позволили выяснить много интересных фактов, связанных с этим явлением.

В целом ряде населенных пунктов Центральной Сибири в ясную погоду был отмечен яркий болид. Около 7 часов утра, где-то над Минусинским краем он проник в верхние слои земной атмосферы и пронесся сквозь нее, приближаясь к поверхности Земли в направлении на северо-восток. При полном солнечном свете он привлек внимание пассажиров поезда, глядевших в окна вагонов, катившихся по полотну незадолго до этого оконченной Великой Сибирской железнодорожной магистрали. Интересно было бы нам с вами тоже оказаться когда-либо свидетелями такого зрелища!

Бело-голубого цвета болид летел со скоростью нескольких десятков километров в секунду, приближаясь постепенно к горизонту и оставляя на небе широкий след. Он мало потерял своей скорости от сопротивления воздуха и, проделав путь в полтысячи километров, закончил его близ реки Хушмы — притока

Подкаменной Тунгуски, которая несет свои воды в могучий Енисей.

Жители Киренска на Лене, находившиеся на расстоянии 450 *км* от места падения, видели фонтан из продуктов взрыва, вставший за далекой тайгой, как огромный вертикальный столб дыма. Для того чтобы его могли видеть из Киренска, он должен был подняться в высоту не менее чем на 20 *км*.

В Ванoваре, небольшом поселке в 60 *км* от места падения (это ближайший к нему населенный пункт), взрывная волна произвела много разрушений. Казалось, что на мгновение огонь охватил полнеба. Эту вспышку, несмотря на яркий солнечный день, видели в ряде селений на Тунгуске и даже на Ленских золотых приисках, за сотни километров от места происшествия.

Волна взрыва всегда переходит в звуковую; так было и в этом случае. В упомянутых поселках от взрывной волны в домах дрогнули стекла и посуда в шкафах, а слабый звук слышен был даже на расстоянии в 700 *км*. Еще дальше жители не обратили на него внимания, но его отметили приборы, записывающие давление воздуха. Эти приборы — барографы — отметили воздушную волну в Петербурге, Копенгагене, в Германии и даже в Вашингтоне (США). По записи этих приборов можно установить момент, когда до них дошла эта воздушная волна, и так удалось проследить, как она шла от Подкаменной Тунгуски на восток и на запад, постепенно уходя все дальше и дальше. Обогнув земной шар и ослабевая, она все же продолжала свой путь, и через 30 часов вторично была зарегистрирована в Потсдаме (Германия).

Такого же рода воздушную взрывную волну наблюдали только однажды, когда в 1883 г. на Зондских островах произошло извержение вулкана Кракатау, сопровождавшееся взрывом и разрушением острова, являющегося подножием вулкана.

Посудите, какое землетрясение и какой звук должен был вызвать удар гигантского метеорита. Как бы там ни было, а его вес был в тысячи раз больше веса наиболее тяжелых бомб, и скорость — в сотни раз

больше скорости бомб, сброшенных с самолета. Волны землетрясения, вызванного падением метеорита (сейсмические волны), тотчас же побежали в земной коре, ослабевая с удалением от центра взрыва. Они были отмечены автоматическими записывателями землетрясения (сейсмографами) в Иркутске, Ташкенте, Тбилиси и даже в Германии. Правда, в Германии почва сдвинулась при этом всего лишь на ничтожные доли миллиметра, но точные приборы, какими являются сейсмографы, отметили и это.

Что же произошло, однако, на месте самого падения?

Небольшие горы и густой лес вокруг места падения ослабили действие взрывной волны, но все же чумы эвенков и пастушеские шалаши были сорваны с места как от бури, и их жители были сбиты с ног и получили ушибы. А между тем эти чумы стояли в 30 *км* от места падения.

Леонид Алексеевич Кулик, сотрудник Академии наук, был пионером изучения места падения Тунгусского метеорита. По трудно проходимой тайге, сквозь заросшие, густые леса, по болотам, в тучах неотвязной, изводящей мошкары, располагая вначале самым скудным снаряжением (ибо взять с собой многое в такой трудный путь было нельзя), он обследовал больше сотни квадратных километров. Пробравшись в глушь, указанную ему тунгусами, он обнаружил, что взрыв охватил площадь около 25 *км* в диаметре. Ветви на деревьях здесь обгорели и стволы были обожжены на глубину 1—2 *см*. Шутники говорили, что, кроме обожженного леса, в этих местах находили оленей, зажаренных живьем. Хотя эти рассказы и являются анекдотами, но несомненно, что раскаленным воздухом были уничтожены, кроме растений, и все животные, находившиеся в это время поблизости.

Взрывной волной деревья были повалены на расстоянии в несколько десятков километров во все стороны и вершинами легли прочь от места взрыва. Аэрофотосъемка, сделаная в 1937—1938 гг., показала, что здесь, собственно говоря, было два центра вывала леса.

За три года (1927—1930 гг.) Л. А. Кулик обнаружил, что торф, покрывающий там болотистую почву, давлением воздуха был собран в складки высотой в несколько метров, местами разорван на куски и перенесен с места на место. В глине были найдены мельчайшие осколки раздробленных горных пород,

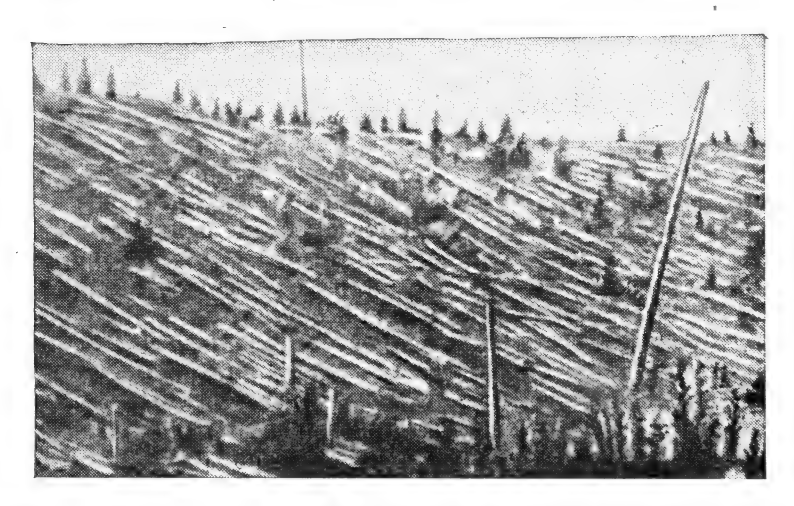


Рис. 106. Лес, обожженный и поваленный при падении Тунгусского метеорита.

попавших туда при взрыве. Невдалеке был найден разрушенный тунгусский склад. Кроме того, было найдено еще более 10 воронок диаметром от 10 до 50 *м* и плавленые кусочки кварца со следами никелистого железа, но ни одного метеорита не попалось.

По-видимому, метеорит, взорвавшись, выпал в форме небольших осколков и пыли на довольно большой площади. Эти осколки за 20—30 лет, прошедших со времени падения, могли уйти глубоко в болотистую почву, их затянуло тиной, они заросли сверху кустарниками. Что же касается воронок, то они к падению метеорита отношения не имели.

Дело в том, что Тунгусский метеорит упал в районе вечной мерзлоты, где промерзшая почва на неко-

торой глубине никогда не оттаивает. Слой вечной мерзлоты не пропускает воду, и подпочвенная вода замерзает на небольшой глубине, поднимая буграми верхние слои почвы. От провалов таких торфяных бугров и образовались воронки.

Трудное сообщение и неуверенность в успехе замедляли развитие поисков. Было решено с помощью аэрофотосъемки сначала уточнить картину падения и уже затем затрачивать большие средства на поиски частей метеорита. Съемка была произведена. Перед самой войной снимки были изучены, но фашистское нашествие помешало этому научному предприятию, так же как оно помешало всему мирному развитию нашей страны. Л. А. Кулик, мужественно вступив в ряды народного ополчения, погиб, не дождавшись ни разгрома фашизма, ни осуществления своей заветной мечты — отыскания Тунгусского метеорита.

В чем же состоит решение загадки Тунгусского метеорита? Один из писателей-фантастов написал рассказ, будто Тунгусский метеорит был межпланетным кораблем, присланным с Венеры, и взорвавшимся без остатка при несчастном случае, так как он будто бы содержал в себе запасы атомной энергии. Эта фантастическая повесть некоторыми была принята всерьез, но в ней верно только то, что был взрыв. Но для этого взрыва не нужно ни жителей Венеры, ни атомной энергии, ни космонавтов с Марса, которым писатели-фантасты также приписывали попытку спуска в дебрях тайги. Наиболее точные измерения не показали никакой аномально повышенной радиоактивности в окрестностях падения метеорита.

Как показали расчеты К. П. Станюковича и В. В. Федынского, наиболее массивные метеориты, какими были Тунгусский и Аризонский, достигают поверхности Земли, еще не потеряв своей космической скорости. Так, даже при скорости в 4—5 *км/сек* твердое тело в момент удара оказывается подобным сильно сжатому газу. Происходит мгновенное разрушение кристаллической решетки метеорита, он испаряется, превращаясь в газ, который затем стремится расшириться.

Таким образом, получается самый настоящий взрыв, в результате которого метеорит производит огромные разрушения, но при этом гибнет и сам, превращаясь в газ и рассеиваясь в воздухе. Выпадающие при этом осколки могут быть лишь спутниками метеорита, отколовшимися от него до падения и вследствие своей малой массы двигавшимися в атмосфере гораздо медленнее.

В 1957 г. в почве в районе падения были обнаружены, наконец, микроскопические частицы метеоритного железа, хотя они встречаются и в других местах Земли.

Итак, больше никакой загадки Тунгусского метеорита не существует,— при своем падении он взорвался, превратившись в мелкие осколки, пыль и даже газ *).

В. Г. Фесенков считал, что имело место падение не просто метеорита, а падение ядра небольшой кометы, но это не меняет существа дела. Метеорит (или каменисто-ледяное ядро кометы) взорвался вследствие естественных причин, и поэтому его остатков не удается найти.

Вообще сейчас установлено, что при падении метеоритов с малой скоростью образуются ударные кратеры, а при падении с большой скоростью и взрыве — взрывные кратеры, когда метеорит может распылиться даже полностью.

### СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ МЕТЕОРИТ

Вблизи Тихого океана в Приморском крае раскинулся живописный горный хребет Сихотэ-Алинь, поэтически описанный в произведениях писателя и путешественника Арсеньева.

В апреле 1947 г. из Владивостока, извиваясь между сопками, поросшими таежным лесом, по снегу длинной лентой, напоминающей змею, двигался отряд саперов и минеров. Вслед за ними вышли по талому сне-

*) Желающим подробнее ознакомиться с природой метеоритов рекомендуем книги Е. Л. Кринова «Метеориты» и «Тунгусский метеорит».

гу в тайгу акад. В. Г. Фесенков и его жена — геофизик Е. В. Пясковская, прибывшие из Алма-Аты. Необычная экспедиция отправлялась не на поиски мин и не на рытье траншей, а на поиски железных метеоритов, целым дождем выпавших в тайге и вырывших в ней воронки. Саперам предстояло разрывать обломки камней, засыпавших воронки, и извлекать из-под них осколки небесного гостя.

12 февраля 1947 г. произошло это падение железного метеоритного дождя, самое мощное и лучше всего изученное наукой. Полет ослепительно яркого болида с разноцветным хвостом видели многие жители Приморья на пространстве радиусом около 300 *км*. Болид скрылся за горным хребтом, а через несколько минут послышались сильные удары, затем грохот и гул, долго перекатывавшийся между заснеженными соснами. Весь день в небе был виден дымный след, оставшийся после полета болида.

Неожиданные явления — распахивание дверей, осыпание штукатурки, испуг животных — произвели сильное впечатление на тех, кто не знал, в чем дело, и находился под линией полета метеорита. На третий день летчики Фирциков и Агеев с высоты 700 *м* заметили в тайге поломанный лес и свежие воронки в скалистом грунте. Так советская авиация избавила наших ученых от долгих и трудных поисков метеорита в тайге.

Все же энтузиасту-геологу Ф. К. Шипулину пришлось 100 *км* идти пешком по снегу в поисках места падения, на котором он нашел только что прилетевших туда хабаровских геологов.

Несколько позднее прибыла и экспедиция Академии наук с акад. В. Г. Фесенковым и Е. Л. Криновым, поселившимися в избушке, выстроенной саперами, и не смущавшимися тем, что к срочному прибытию экспедиции еще не успели настлать крышу. С характерным для советских людей энтузиазмом и ученые и саперы, несмотря на трудные условия, дружно работали в тайге среди сопок.

На месте падения метеорита, расколовшегося в последний момент на тысячи кусков, были обнаруже-

ны вырванные с корнем, поваленные, сломанные или поврежденные деревья на площади примерно $5 \times 20$ *км*. В головной, передней части, где выпали более крупные куски, обнаружили 106 воронок диаметром от 0,6 до 28 *м*. Наибольшая глубина воронок 6 *м*.

В этих воронках, на их краях, в обломках, выброшенных из воронок или заваливших их, на почве

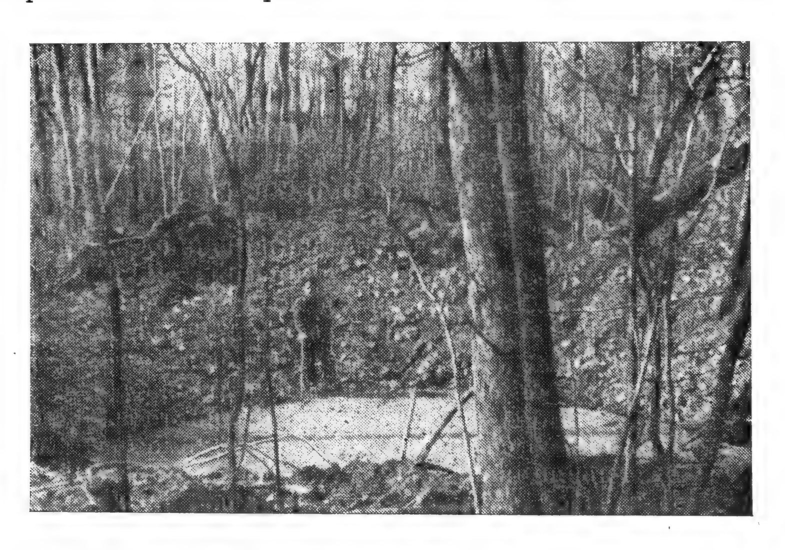


Рис. 107. Сихотэ-Алинский метеоритный дождь. Большая воронка (Фотография Е. Л. Кринова.)

и даже на толстых листьях растений было собрано несколько тысяч осколков весом от 1745 *кг* до долей грамма. Всего собрали 23 *т* метеоритного железа, но еще больше его, наверно, не было найдено или распылилось при ударе, так как массу всего метеоритного дождя оценивают в 100 *т* (а до его проникновения в атмосферу — в 1000 *т*).

Изучение формы и строения метеоритных осколков, а также вызванных ими разрушений дало очень много для понимания процесса дробления метеоритов при взаимодействии их с атмосферой. В земную атмосферу метеориты влетели со скоростью около

20 *км/сек* и задержались на высоте около 5 *км* над Землей, где и произошло их дробление на части. Взрыва при ударе метеорита о земную поверхность не произошло, как это, несомненно, бывает при большой массе метеорита и при большой скорости его движения, когда атмосфера наша оказывается не в состоянии затормозить его космическую скорость до скорости обычного падения тел.

Академику В. Г. Фесенкову удалось вычислить орбиту Сихотэ-Алинского метеорита из наблюдений его полета в земной атмосфере. Орбита этого метеорита похожа на орбиту короткопериодической кометы или на орбиту одного из тех мелких астероидов, которые пересекают орбиты внутренних планет (например, Икар). В. Г. Фесенков считал, что Сихотэ-Алинский метеорит был настоящим астероидом из числа того множества их, которые еще не могут наблюдаться из-за их малого размера. Позднее он считал более вероятным, что это было ядро небольшой кометы, а не астероид.

## НЕБЕСНЫЕ БОМБАРДИРОВКИ

К описанию всех известных метеоритных кратеров можно добавить упоминание о нескольких случаях, вызывающих сомнение. Заподозрено, например, метеоритное происхождение огромной впадины Ашанти диаметром 10,4 *км* на Золотом берегу в Западной Африке; еще больше (19 *км*) кратер Нгоро-Нгоро в Центральной Африке, Рис (Бавария) — более 20 *км* диаметром и Бредефорд (Трансвааль) — 40 *км* в поперечнике, но все они еще мало изучены. Известные кратеры метеоритного происхождения сведены в табличку на стр. 360.

Большинство кратеров было найдено в пустынях, где мало дождей, быстро разрушающих возвышения рельефа, подобные валам этих кратеров. Вблизи городов, раскинутых всегда в местах с большим или меньшим количеством дождей, с населением, использующим каждую пядь земли, небольшим кратерам трудно уцелеть, и тут, вероятно, их не найдут.

| Местность | Число кратеров | Диаметр наибольшего в *м* | Дата открытия |
|---|---|---|---|
| Аризона (США) . . . . . . . . | 1 | 1200 | 1891 |
| Хэнбери (Австралия) . . . . | 10 | 200×110 | 1931 |
| Боксхол (Австралия) . . . . | 1 | 175 | 1937 |
| Одесса (США) . . . . . . . . | 1 | 170 | 1921 |
| Вабар (Аравия) . . . . . . . | 2 | 100 | 1932 |
| Эзель (Эстонская ССР) . . . | 6 | 100 | 1927 |
| Кампо-дель-Сьело (Аргентина) | много | 75 | ? |
| Далгаранж (Австралия) . . . | 1 | 70 | 1923 |
| Брэнхем (США) . . . . . . . | 1 | 17 | 1933 |
| Сихотэ-Алинь (СССР) . . . . | >100 | 28 | 1947 |
| Чабб (Канада) . . . . . . . | 1 | 3500 | 1946 |
| Брент (Канада) . . . . . . . | 1 | 3200 | ок. 1960 |

Мы видим, что всегда воронки образуются либо группой метеоритов, летящих совместно или получившихся при разломе метеорита в воздухе, либо уже при самом падении метеорита. В каждом из приведенных случаев в метеоритном происхождении кратера сомневались, пока не находились куски метеорита, во всех случаях железные. Признаками, подтверждающими метеоритное происхождение кратеров, является наличие горной муки и оплавленных камней, а в случае присутствия песка — наличие стекловидных (расплавленных, а потом застывших) нитей и брызг.

Учитывая разрушение метеоритных кратеров атмосферными воздействиями, мы заключаем, что метеориты, способные образовать кратеры диаметром не менее десяти метров, падают на Землю не чаще раза в столетие. По-видимому, на нее никогда не падал метеорит, который был в десятки раз больше аризонского, иначе образованный им кратер уцелел бы до наших дней, даже если бы метеорит упал сотни тысяч лет назад. Это подтверждает вывод о чрезвычайно малой вероятности столкновения Земли с ядром кометы и указывает, что такое столкновение никакой опасности не только Земле в целом, но и даже отдельным областям на ней принести собой не может. В ночь,

когда на небе сияет комета, приближающаяся к Земле, можно спать спокойно...

Открытие кратеров метеоритного происхождения на Земле во многих умах возродило идею о том, что лунные кольцевые горы — эти «оспины» на лике Луны — образованы падением метеоритов. Раньше в пользу этого приводили то, что воронки от снарядов гораздо больше, чем размеры самих снарядов. Указывали, что эти воронки круглой формы, независимо от угла падения, и делали опыты, бросая с высоты камешки или щепотки порошкообразного вещества на ровный слой такого же порошкообразного вещества. Для этой цели с успехом можно использовать обыкновенный зубной порошок.

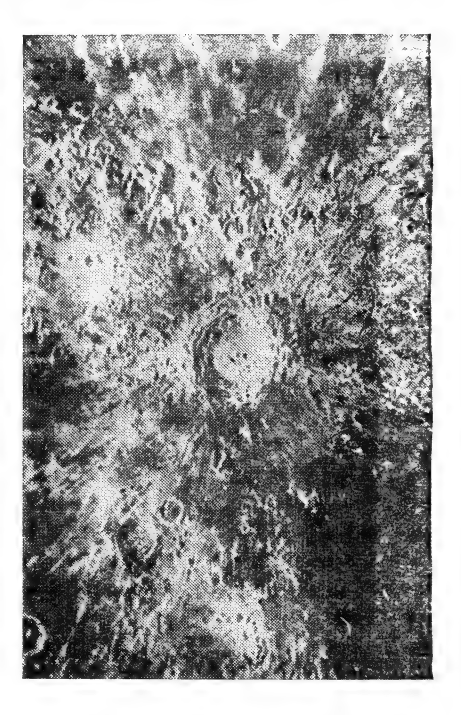


Рис. 108. Один из крупных лунных кратеров — кратер Коперник.

Действительно, каждый бросок образует в слое порошка круглую воронку, имеющую характерные черты лунных кольцевых гор и кратеров. Другими словами, получается углубление с кольцевым валом, высота которого в десятки раз меньше диаметра углубления, и в центре углубления зачастую образуется небольшой пик.

Наличие метеоритных кратеров на Земле и сходство их профиля с профилем лунных кратеров придавало этой версии добавочную правдоподобность.

За последние полтораста лет, в течение которых Луна наблюдается достаточно тщательно, на ней не образовалось ни одного нового кратера, по крайней мере достаточно заметного, с диаметром хотя бы в несколько километров. Если же такие метеориты падали на Луну и на Землю очень давно, если бы на поверхности Земли следы их падений и могли исчезнуть, то мы находили бы по крайней мере много осколков ископаемых метеоритов, похороненных в осадочных горных породах, напластовавшихся за миллионы лет. Между тем нет ни малейших признаков того, что в прошлые геологические эпохи метеориты падали на Землю чаще, чем теперь. Метеориты, упавшие очень давно, находят. Например, один метеорит был выкопан с глубины 6 *м*, а над ним случайно оказался сохранившийся в почве труп мегатерия. Эти вымершие затем животные населяли Землю около миллиона лет назад. Следовательно, и миллион лет назад метеориты падали на Землю и сохранились до наших дней. Однако число их не было, очевидно, много больше современного, и нет оснований утверждать, что они падали, но только не могли сохраниться до нашего времени.

Анализ распределения кратеров по поверхности Луны показывает ряд закономерностей, тогда как метеориты вызывали бы совершенно случайное распределение кратеров. Структура огромных впадин на Луне, так неудачно названных морями и имеющих многие сотни километров в диаметре, совершенно подобна структуре больших лунных кратеров и должна иметь общее с ними происхождение, а уж они никак не могут иметь метеоритное происхождение.

Наконец, есть на Луне одно образование, которое, будучи одним-единственным, тем не менее совершенно устраняет возможность участия такого формовщика поверхности планеты, как метеорит. Это лунная гора Варгентин — столовая гора совершенно круглой формы, без всякого углубления в середине, но со склонами, совершенно такими же, как у кольцевых гор; она могла быть образована только расплавленной

лавой, поднявшейся из лунных недр и застывшей на уровне кольцевого вулканического вала.

Лунные горы, несомненно, представляют собой своеобразные проявления и вулканической деятельности в глубоком прошлом, и падения метеоритов. Ответственность за то, что у Луны «лицо рябое», надо возложить и на то и на другое.

## ЗОДИАКАЛЬНЫЙ СВЕТ И ГАЗОВЫЙ ХВОСТ ЗЕМЛИ

Еще одно явление природы имеет тесное родство с теми мелкими межпланетными частицами, которые мы называли метеорами. Жители тропических стран хорошо знакомы с той картиной, которую лишь смутно можно себе представить по следующему описанию.

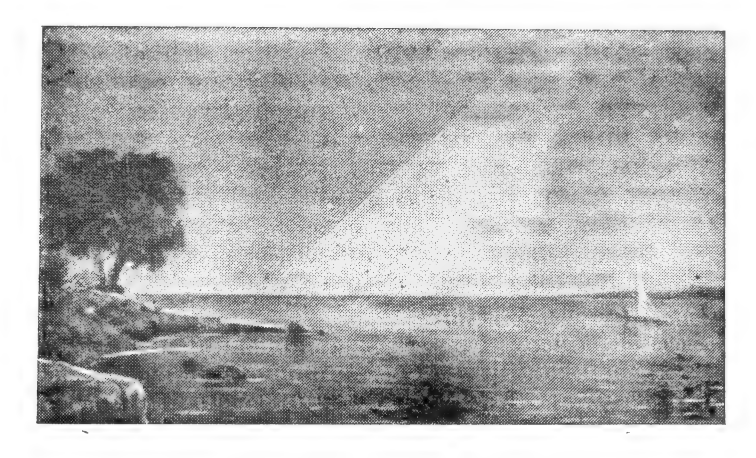


Рис. 109. Зодиакальный свет.

Весною вечером, после захода Солнца и угасания зари, и осенью перед его восходом, на западе — в первом случае и на востоке — во втором, из-за горизонта встает серебристый конус какого-то сияния. В южных районах СССР оно бывает ярче Млечного Пути, а в средних широтах оно видно плохо, потому что ось этого сияния вытягивается вдоль эклиптики (по

зодиакальным созвездиям), а в средних широтах эклиптика образует с горизонтом небольшой угол. Атмосферное поглощение и пыль у горизонта мешают нам видеть нижнюю и самую яркую часть зодиакального конуса. Иногда удавалось одновременно наблюдать и восточную и западную части зодиакального света смыкающимися вместе и образующими как бы гигантскую световую арку в южной стороне неба. В стыке этих ветвей, т. е. в точке, противоположной Солнцу, замечается усиление света в виде пятна, имеющего несколько градусов в поперечнике; его называют противосиянием.

С тех пор как недавно удалось снять спектр зодиакального света, выяснилось с несомненностью, что он образован отражением солнечного света от бесчисленных метеоритных частиц, заполняющих пространство между Солнцем и Землей. Действительно, спектр зодиакального света оказался копией спектра Солнца, т. е. этот свет есть свет Солнца, отраженный достаточно крупными частицами. Рассеяние света Солнца могли бы создать и мельчайшие пылинки и молекулы газа, но в последнем случае цвет зодиакального света был бы голубоватым, как цвет неба, создаваемый именно рассеянием белого солнечного света молекулами газов нашей атмосферы. Между тем цвет зодиакального света белый и в его спектре голубая часть не ярче, чем в спектре Солнца.

Никто не изучил зодиакальный свет так подробно, как академик В. Г. Фесенков, интересовавшийся им еще со студенческой скамьи. Произведя множество измерений яркости зодиакального света, в результате сложного и тонкого анализа этих наблюдений В. Г. Фесенков пришел к следующим выводам.

Общая масса частиц, образующих зодиакальный свет, очень невелика. Отраженный ими свет определяется их суммарной поверхностью. Небольшая масса, разбитая на множество мелких частей, имеет поверхность, во много-много раз бóльшую, чем поверхность той же массы, собранной в один шар. Если это не вполне ясно, попробуйте, например, сравнить: сколько краски пойдет на то, чтобы выкрасить по-

верхность бревна, и сколько ее потребуется, чтобы выкрасить сотню, а тем более тысячу чурок, на которые можно распилить и расколоть это же самое бревно.

Метеоритные частички распространяются от Солнца дальше, чем орбита Земли, и те, что расположены прямо против Солнца, отражают свет всей своей поверхностью, как полная Луна. В этом направлении отраженный свет, следовательно, ярче; он-то и образует пятно, названное противосиянием. Метеоритные частицы, находящиеся «сбоку» от Земли и Солнца, отражают меньше света и в совокупности, как показывает расчет, должны иметь яркость, совпадающую с наблюдаемой яркостью зодиакального света.

Метеоритные частицы, образующие зодиакальный свет, движутся вокруг Солнца, по-видимому, по всевозможным орбитам, из которых многие сильно наклонены к эклиптике. Большинство частиц движется вблизи плоскости земной орбиты, так что их совокупность в общем образует около Солнца сильно сплющенный рой, вытянутый вдоль плоскости Солнечной системы и по своей форме напоминающий линзу, в центре которой помещается Солнце. Эти частицы образуются в результате дробления астероидов и столкновений их с крупными метеоритами, они образуются и в настоящее время. Они непрерывно падают на Солнце, так что за 100 000 лет на него выпадает масса, сосредоточенная внутри шара радиусом в одну астрономическую единицу. Из заключенной в этом объеме массы можно было бы слепить один астероид диаметром 10 *км*.

Исследуя в Алма-Ате распределение яркости по ночному небесному своду с учетом влияния зодиакального света, академик В. Г. Фесенков в 1949 г. вместе со своими сотрудниками подтвердил предположение И. С. Астаповича, что земная атмосфера, а тем самым Земля, имеет как бы светящийся газовый хвост. Этот хвост, как и у комет, вытянут всегда в сторону, противоположную к направлению на Солнце, и стелется в плоскости эклиптики. Здесь земная атмосфера, по-видимому, неограниченно распространяется в мировое пространство в виде расходящегося

конуса, имеющего раствор около 10°. Плотность воздуха вдоль хвоста убывает довольно медленно, приблизительно в два раза на каждые 4,7 радиуса земного шара. Причиной описанного является, может быть, как и у комет, давление солнечного света, хотя в основном хвост располагается в области конуса земной тени. Весь этот вопрос нуждается в дальнейшей проверке, так как выводы основаны на наблюдении трудно уловимых явлений и еще не выяснены возможные причины такого поведения молекул воздуха, состоящего в основном из азота, на который давление света не должно было бы оказывать заметного действия, в особенности в зоне земной тени.

## СВЕТЛЫЕ И ТЕМНЫЕ ТУМАННОСТИ

Подводя итог, мы видим, что метеоритам в нашей Солнечной системе мы обязаны красотой болидов, падающих звезд, метеоритными кратерами на Земле и, может быть, на Луне и Марсе, зодиакальным светом и даже кольцом Сатурна. Но этим не ограничивается роль метеоритов, и за пределами Солнечной системы мы опять встретимся с ними.

Итак, не расставаясь с метеоритным веществом, выйдем теперь за пределы Солнечной системы, в бесконечные глубины мирового пространства.

В ясную морозную зимнюю ночь, под тремя блещущими звездами, образующими «пояс» мифического охотника Ориона, или под «Тремя волхвами», как их называли в старину, в бинокль видно мерцающее пятнышко светлого, зеленовато-серебристого тумана. Оно обволакивает среднюю из трех звезд, образующих «Меч Ориона».

Много таких размытых светлых пятнышек обнаружил телескоп за три века, прошедших со времени его изобретения, но целый мир таких туманностей раскрылся перед нами с той поры, как на помощь астроному пришла фотография.

Накопляя минута за минутой, иногда час за часом действие света, фотографическая пластинка выявляет такие слабо светящиеся пятна — туманности, ка-

кие человеческий глаз зачастую не в состоянии обнаружить даже при помощи телескопа.

Тут и там, вблизи полосы Млечного Пути, особенно в нем самом, мы находим множество светлых клочковатых туманностей, больших и малых, называемых за их бесформенность диффузными туманностями. Они все занесены в каталоги, а спектры их

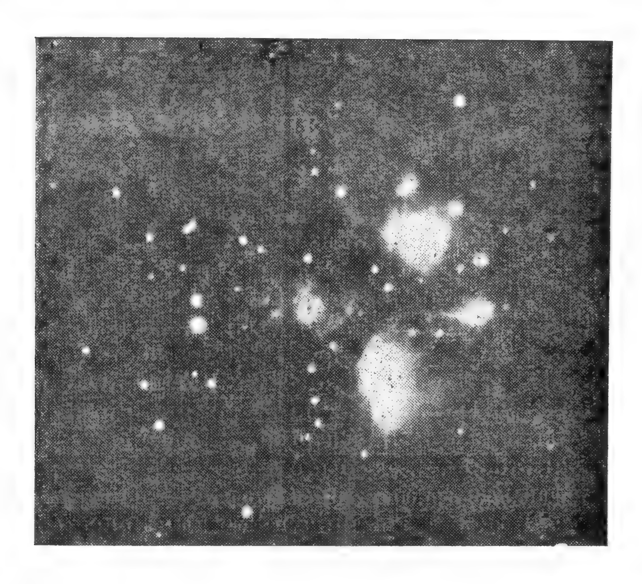


Рис. 110. Туманности вокруг Плеяд, светящие отраженным светом.

говорят нам, что одни из них состоят из разреженного газа, другие из чего-то, отражающего свет звезд.

Действительно, в 1921 г. американец Хаббл обнаружил, что в тех случаях, когда спектр диффузной туманности непрерывный и с темными линиями, он неизменно является точной копией спектра какой-либо близкой к ней звезды. В большинстве случаев такая звезда видна на фоне туманности и почти несомненно, что это не игра случая, не случайная проекция звезды на туманность, но что и в прост-

ранстве звезда либо находится вблизи нее, либо даже погружена в самую туманность.

Одним из наиболее ярких примеров этого являются слабые туманности, которые обволакивают наиболее яркие звезды в звездной куче Плеяд. Спектры таких туманностей и изменение их яркости с увеличением видимого расстояния от звезд согласно говорят о том, что эти туманности светят светом, отраженным от звезд.

Но что может собираться в такие хаотические, бесформенные облака и отражать свет звезд, как не скопище космической пыли?

В некоторых случаях спектр туманностей состоит из наложения ярко-линейчатого спектра на обычный звездный спектр и обнаруживает наличие смеси разреженных газов и метеорной пыли.

Почти во всех случаях светлая туманность сопровождается темными пятнами. В массе светящейся нежной материи видны черные прогалины и полосы, как кляксы туши, выплеснутой на тонкую белую кисею.

Лет 30 назад эти пятна не привлекали к себе особого внимания, но позднее Барнард в США выявил много темных пятен на сияющем фоне туманности.

Одно из таких пятен, наиболее, быть может, поразительное, находится в Млечном Пути в созвездии Ориона, в непосредственном соседстве со знаменитой туманностью Ориона. Некоторые, находя в ее очертаниях сходство с конской головой, так ее и прозвали (рис. 111).

Посмотрите, как вверху на фотографии все поле затянуто нежным сиянием светлого тумана и испещрено великим множеством слабых, по-видимому, далеких звезд. Внизу же — зияющая чернота и на ее фоне видны лишь отдельные, более яркие звезды.

В южном полушарии неба, в Млечном Пути, как бы «сделана огромная дыра»,— там чернеет мрачное пятно, прозванное мореплавателями «Угольным мешком».

Долгое время эти черные пятна в Млечном Пути считали «дырами» в толще звезд, его образующих. Их

рассматривали как пустоты, в которых почему-то действительно нет звезд. Это убеждение и помогло однажды находчивому зарубежному астроному отделаться от одной настойчивой и важной посетительницы обсерватории. Ей показали в телескоп загадочный Марс с его белыми полярными шапками, показали зазубрины лунных гор, бросающих длинные



Рис. 111. Темная туманность «Конская голова» в созвездии Ориона.

тени, показали удивительное кольцо Сатурна, но посетительница не была удовлетворена и все желала, чтобы ей показали в телескоп «бесконечное мировое пространство». Астроном, принимавший эту богатую даму, повернул телескоп и направил его на одно из таких темных пятен в Млечном Пути с редкими, едва мерцающими звездочками. «Смотрите между этими звездочками в черноту, — сказал он ей, — и вы увидите это бесконечное мировое пространство, которое вам так хочется увидеть».

Это было лет 50—60 назад... А теперь, не кривя душой, сделать то же самое астроному было бы нелегко. С тех пор кажущуюся пустоту темных «дыр» в Млечном Пути развитие науки «заполнило» веществом...

Сначала всплыла догадка, что перед нами не отверстия, уходящие в бесконечность, а темный занавес, скрывающий не только «бесконечное пространство», но и относительно близкие звезды нашей собственной звездной системы.

Занавес этот — колоссальные облака пыли, поглощающие и рассеивающие свет звезд, как погруженных в эти облака, так и находящихся за ними. Чем больше и плотнее такое облако, чем больше производимое им поглощение и чем ближе оно к нам, тем меньше звезд мы видим в этом направлении. Свет звезд проходит через это облако сильно ослабленным, поэтому звезды кажутся слабее, чем они есть на самом деле, слабее, чем если бы мы смотрели на них сквозь прозрачное пространство. Особенно слабые звезды из-за поглощения в облаке делаются совсем нам невидимыми. Но ведь чем слабее звезды, тем в общем они дальше от нас, а чем звезды дальше, тем число их больше. Поэтому наиболее слабые и многочисленные (далекие) звезды в области темных пятен Млечного Пути не видны, а пятна эти мы теперь вправе назвать темными туманностями.

Подозрение родило способы его проверки, подтвердившие существование множества темных, поглощающих свет туманностей, состоящих из космической пыли. В. А. Амбарцумян и Ш. Г. Горделадзе доказали, что одни и те же облака космической пыли кажутся темными, когда по соседству с ними нет ярких звезд, и представляются светлыми туманностями, когда их освещает какая-нибудь яркая звезда, случайно оказавшаяся по соседству.

Основой способа изучения темных туманностей (их размеров, расстояния до нас и поглощающей способности) является, как показал впервые немецкий ученый Вольф, подсчет звезд определенного блеска в области туманности и по соседству с ней.

Толщина облака темной пыли часто колоссальна, измеряется десятками, а иногда и сотнями световых лет и гораздо больше среднего расстояния между звездами. Таким образом, тысячи звезд парят в каждой из подобных туманностей, как птицы в тумане. Вот уже поистине «тихо плавают в тумане хоры стройные светил»...

Поглощающая способность темной туманности определяется величиной наибольшего производимого ею

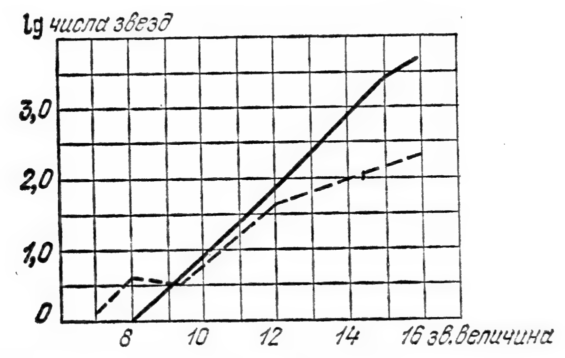



Рис. 112. Увеличение числа звезд с ослаблением их блеска в пылевой туманности и по соседству с ней.

поглощения света. Если, например, в туманности число звезд 15-й звездной величины равно числу звезд 14-й звездной величины вне туманности (на единицу видимой площади), то, значит, полное поглощение света туманностью составляет одну (15—14) звездную величину. Иначе говоря, туманность ослабляет свет звезд, находящихся за нею, в $2^1/_2$ раза.

Видимая наблюдателем область неба соответствует в пространстве конусу, уходящему в бесконечность с вершиной в глазу наблюдателя. Чем дальше от нас, тем больший объем пространства охватывает конус и тем больше звезд должно в нем содержаться. Это объясняет, почему число звезд на единицу *видимой площади* неба растет с уменьшением их видимого блеска, т. е. с ростом их дальности от нас, что показывает сплошная линия на рис. 112. На расстоянии,

соответствующем среднему расстоянию звезд двенадцатой величины, начинается темная туманность, которая уменьшает число более слабых звезд (прерывистая линия). Но этот способ изучения туманности, применявшийся раньше, оказывается, очень неточен. В последнее время изучение темных туманностей производится более сложным, но более точным способом, учитывающим различие истинной яркости звезд и ряд других обстоятельств. Эти способы разработаны, в частности, К. Ф. Огородниковым и О. В. Добровольским.

Самые близкие к нам темные туманности находятся на расстоянии 300 световых лет.

Как показали расчеты академика В. Г. Фесенкова и проф. П. П. Паренаго, при чудовищно больших размерах темных туманностей (в среднем 3 парсека) масса их не так уж велика — в среднем три массы Солнца, если они состоят из очень мелкой пыли.

Если множество мелких частиц отражает больше света, чем одно тело той же массы (вспомним кольца Сатурна), то оно же способно и поглощать больше света. Велика ли масса дыма, которым иной курильщик умудряется себя окутать так, что его почти не видно! Собрав этот дым в один твердый шарик, мы едва ли увидели бы его глазом,— так мал бы он был и никак не мог бы заслонить собой нашего курильщика.

На огромной рассеивающей способности мелких частиц и основано применение на войне дымовых завес с целью маскировки.

Подсчет показывает, что наибольшее поглощение (точнее, говоря, рассеяние) создают пылинки диаметром около одной десятитысячной доли миллиметра, т. е. немногим большие, чем длина волны зеленого света. Слой, содержащий в столбике сечением 1 *см*$^2$ всего 0,1 *мг* таких частиц, практически непрозрачен. Он ослабляет идущий через него свет на 9 звездных величин, т. е. в 4000 раз!

При размерах частиц, меньших десятитысячной доли миллиметра, рассеяние, производимое ими, становится избирательным, как у газовых молекул воз-

духа, т. е. тем больше, чем короче длина волны. Это и является причиной того, что цвет неба голубой, а цвет заходящего Солнца или Луны — красный. Из состава белого света больше всего рассеиваются голубые лучи и более свободно пропускаются красные лучи. Таким образом создается преобладание красных лучей в свете светил, идущем к нам сквозь атмосферу, слой которой толще всего по направлению к горизонту.

Если космическая пыль (металлические, например, железные частички) в темных туманностях очень мелка, то она производит подобное же покраснение цвета звезд, лежащих за нею, и по степени покраснения теория позволяет вычислить размер частиц.

Такое избирательное поглощение цвета обнаруживается из сравнения цвета звезд одной и той же температуры, лежащих за туманностью и вне ее. Ведь истинный цвет звезды зависит от ее температуры, определяемой по ее спектру, и звёзды, свет которых испытал избирательное поглощение в туманности, обнаруживают избыток красного цвета. Подобно этому наше Солнце, видимое сквозь облако пыли или зимнего тумана, кажется краснее, чем оно есть на самом деле.

Избыток красного цвета (часто говорят короче — избыток цвета) и цвет звезд точнее всего измеряются с помощью фотоэлектрического фотометра. Для этого измеряют яркость звезды таким фотометром непосредственно и через желтое или красное стекло (светофильтр), которое пропускает лучше остальных желтые и красные или только красные лучи. Так измеряется доля красных лучей в общем свете звезды. Подобные исследования в большом числе выполнены, например, Шаленом (Швеция), Е. К. Харадзе и М. А. Вашакидзе (Абастуманская обсерватория). Некоторые темные туманности создают избыток цвета больше чем на целую звездную величину, так что сквозь них чисто белая звезда с температурой в 15—20 тысяч градусов кажется совершенно красной, какими в действительности выглядят звезды с температурой всего лишь 3000°.

Изучение избытков цвета звезд и их яркости в направлении темной туманности и по соседству с нею является наилучшим способом определения расстояния до нее, ее размера и размера ее частиц.

Кроме мелких метеорных пылинок, в темных туманностях должны быть и более крупные частички, производящие простое, общее поглощение света, попросту загораживающие его. Число их может быть тоже не малым. По размерам эти частички могут походить на те, какие на Земле производят явление падающих звезд и, быть может, есть даже такие, которые, забредая случайно в Солнечную систему, падают на Землю в виде увесистых кусков.

### МЕЖЗВЕЗДНЫЙ СОР

Во времена Галилея было много ревнителей чистоты небес,— того пространства над нашей головой, которого, по их мнению, не могла запятнать не ступавшая туда нога человека. Это убеждение заставляло их яростно отвергать существование темных пятен на лучезарном Солнце — эмблеме чистоты и блистательности божественных небес. Неумолимая наука опровергла эти ни на чем не основанные фантазии, и мы убедились не только в существовании пятен на Солнце, но и в наличии крупных и мелких осколков во всем *межпланетном* пространстве, в Солнечной системе и даже пылевых туманностей между звездами.

Но уж остальное пространство между звездами должно быть чисто,— думали еще недавно астрофизики. И эту мысль у них родили не беспочвенные убеждения, а некоторые научные данные. Например, звезды, собранные в тесные шаровые кучи и находящиеся от нас дальше большинства остальных звезд, как будто не обнаруживали никакого избытка цвета. Видимый их блеск тоже как будто зависел только от квадрата расстояния до них, как может быть только в абсолютно прозрачном пространстве.

На существование поглощения света, а следовательно, и поглощающей среды в межзвездном пространстве впервые со всей определенностью указал вы-

дающийся русский ученый В. Я. Струве в 1847 г. К этому заключению он пришел, изучая распределение звезд по разным направлениям. Однако этот вывод был настолько смел и неожидан, что к нему отнеслись с сомнением, и ученые в дальнейшем предполагали межзвездное пространство совершенно прозрачным.

В 1930 г. Трюмплер в США, изучая тесные скопления звезд, обнаружил странный и неправдоподобный факт. Чем дальше от нас находится звездное скопление, тем линейный диаметр его оказывается больше! Надо сказать, что изучались не те шаровые скопления, о которых говорилось выше и которые видны несколько в стороне от полосы Млечного Пути. Изучались так называемые галактические звездные скопления, более близкие к нам, чем шаровые, и видимые в самой полосе Млечного Пути. К ним относятся, например, звездные скопления Плеяд и Гиад. Их видимое положение в полосе Млечного Пути означает, что в пространстве они лежат вблизи той плоскости, к которой скучиваются звезды нашей звездной системы, создавая тем самым вокруг нас картину звездного кольца — Млечного Пути. Естественно, что прежде чем сообщить свои странные результаты, Трюмплер задумался, не могло ли тут замешаться какое-либо обстоятельство, не замеченное и не учтенное раньше. Он еще раз пересмотрел метод исследования звездных скоплений.

Сначала определялись расстояния до наиболее близких скоплений способами, не вызывающими никаких сомнений. Зная эти расстояния, по видимой угловой величине скоплений вычисляли их линейные размеры. Оказалось, что линейные размеры и блеск главных звездных скоплений одного и того же вида одинаковы. Тогда, естественно, решили, что у скоплений данного вида видимый блеск их главных звезд зависит только от их расстояния, убывая обратно пропорционально квадрату расстояния. Зная же истинный блеск таких звезд и сравнивая его с видимым блеском звезд, который легко измерить, нетрудно подсчитать расстояние от далеких скоплений.

По вычисленным таким образом расстояниям далеких скоплений и по их видимым угловым диаметрам и определили их линейные размеры. И вот они, оказывается, растут с удалением скопления от нас!

Что же могло тут сказаться? Если бы найденные расстояния далеких скоплений были преувеличены, и тем больше преувеличены, чем больше сами расстояния, то результат был бы именно такой: линейные диаметры оказались бы тоже преувеличенными и тем больше, чем больше расстояние. Ведь на видимом угловом диаметре расстояние никак не может сказаться. Но вот на видимом блеске звезд расстояние может сказаться, если в пространстве поглощается свет. Чем дальше скопление, тем больший путь в поглощающей среде проходят его лучи и тем сильнее уменьшается его блеск. Мы же, не догадываясь о поглощении, относили скопление дальше, чем оно от нас находится в действительности. Так Трюмплер окончательно установил, что в нашей звездной системе есть поглощающая материя; она концентрируется к плоскости Млечного Пути, представляя собой довольно тонкий слой. Впоследствии его толщину оценили в 600 световых лет. Свет от светил, находящихся внутри этого слоя (подобно нашей Солнечной системе), испытывает в нем сильное поглощение (например, галактические скопления). Наоборот, свет от светил, находящихся вне этого слоя (например, шаровые звездные скопления), испытывает очень малое поглощение, потому что их свет внутри поглощающей среды проходит только небольшую часть своего пути. Поэтому-то при наблюдениях шаровых звездных скоплений существование поглощающей среды осталось незамеченным.

Нашли, что на каждые 3000 световых лет вблизи плоскости Млечного Пути видимый блеск звезд ослабляется примерно на 0,4 звездной величины, а блеск звезд на фотографиях — даже на 0,7 звездной величины; в самой плоскости Млечного Пути ослабление блеска еще больше.

Более поздние исследования выявили, что межзвездная среда распределена в пространстве очень

неравномерно: в одних местах она плотнее, в других — реже. Величина поглощения, ослабляющего видимый блеск звезд, зависит и от расстояния и от направления. По некоторым направлениям в плоскости Млечного Пути поглощение доходит до нескольких звездных величин на каждые триста световых лет расстояния.

Так как изучение строения нашей звездной системы основано на изучении числа и яркости звезд, а последняя искажена поглощением света в пространстве и в разных направлениях по-разному, то приходится это поглощение постоянно изучать и учитывать. Задача изучения строения звездной системы из-за существования поглощения света стала очень хлопотливой и сложной. Звездную систему приходится изучать, так сказать, по кусочкам, шаг за шагом, в каждом направлении отдельно.

По-видимому, это общее поглощение света частично вызвано некоторой непрерывной пылевой средой, заполняющей пространство между звездами. Частично же его вызывают многочисленные темные туманности, расположенные далеко от нас и проектирующиеся друг на друга.

Общее поглощение света межзвездной пылью сопровождается также и избирательным поглощением света. Чем ближе к плоскости Млечного Пути расположены звезды и чем они дальше от нас, тем они краснее благодаря избирательному поглощению. За последние годы фотографирование на пластинках, чувствительных к красным лучам, выявило целые области неба — целые звездные облака Млечного Пути, имеющие красноватый цвет из-за поглощения света. На обычных фотопластинках, не чувствительных к красным лучам, эти далекие облака слабых звезд выходят слабо, на пластинках же, воспринимающих красный цвет, они получаются гораздо ярче, и в них видно больше звезд.

Поглощающее вещество расположено в звездной системе Млечного Пути не тонким, резко ограниченным слоем, но по мере приближения к плоскости Млечного Пути плотность его меняется так же, как плотность земной атмосферы в зависимости от высоты.

Центр нашей звездной системы, содержащий наиболее густые облака звезд и расположенный в направлении созвездия Стрельца в Млечном Пути, заслонен от нас поглощающей материей. Не будь ее, в этом направлении звездные облака Млечного Пути сияли бы почти ослепительным светом.

Темная «развилка» Млечного Пути, делящая его на два рукава, начинающихся в созвездии Лебедя и соединяющихся снова в южном полушарии неба, также образована скучиванием темных туманностей и не представляет собой гигантской прорехи в нашей звездной системе. В направлении этой развилки, так же как и по тем направлениям, где поглощение особенно велико, мы не видим далеких звездных образований, расположенных за пределами нашего Млечного Пути. Мы не видим там ни шаровых звездных скоплений, ни так называемых спиральных звездных систем, о которых мы узнаем в главе 9. Их мешает видеть темная межзвездная материя. Однако местами встречаются редкие «окна прозрачности» в пыльной толще Млечного Пути, которые напоминают полыньи в ледяных массивах Арктики или окна чистой воды в старом зазеленевшем пруду. В «окна прозрачности» видны звездные системы, лежащие вне пределов нашей собственной звездной системы. Автором этой книжки обнаружены еще так называемые «коридоры видимости», в которых благодаря их прозрачности только и видны далекие звезды нашей звездной системы, хотя и не видно других звездных систем, еще более далеких. А по направлениям, перпендикулярным к плоскости Млечного Пути, например в созвездии Волос Вероники, пространство почти совершенно прозрачно. Там мы свободно видим отдаленнейшие уголки Вселенной, лежащие далеко-далеко за пределами нашей звездной системы.

Как известно, свет — это электромагнитные колебания, причем в световом луче колебания происходят перпендикулярно к направлению распространения луча. В обычном луче направления этих колебаний непрерывно и беспорядочно меняются. При отражении света от некоторых тел происходит упо-

рядочивание световых колебаний: какое-либо направление световых колебаний становится преобладающим. Это явление называется *поляризацией света*, а луч с упорядоченным направлением колебаний — *поляризованным*. С помощью приборов можно узнать, поляризован ли свет.

Свет звезды, прошедший через пылевую среду, поляризован тем больше, чем она дальше.

Поляризация света звезд межзвездной пылью указывает на то, что эти пылинки не круглые, а продолговатые, и что они располагаются в пространстве не хаотично, а вблизи плоскости Млечного Пути. Что же их вынуждает к этому? По-видимому, это происходит благодаря наличию в межзвездном пространстве магнитного поля. Так изучение влияния межзвездной пыли на свет звезд привело к открытию магнитных сил в межзвездном пространстве.

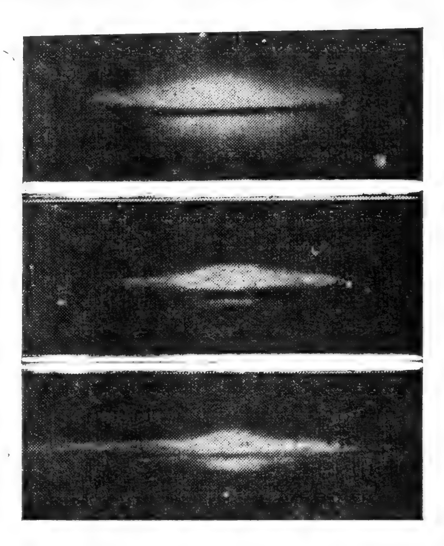


Рис. 113. Слой поглощающего вещества вблизи экваториальной плоскости далеких звездных систем.

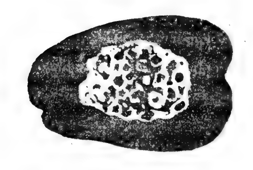
Пылевое вещество, поглощающее свет, есть не только в нашей звездной системе. Мы находим его в каждой из достаточно обширных систем такого рода, как бы далеко от нас они ни находились. В звездных системах, подобных нашей Галактике, мы обнаруживаем на фотографиях поглощающее свет вещество, концентрирующееся опять-таки к плоскости их симметрии. Лучше всего это видно на фотографиях тех из них, которые повернуты к нам ребром и выглядят, как линза или как веретено. На многих таких фотографиях видна рез-

кая узкая темная полоса, как бы рассекающая эту линзу или веретено пополам. Нет никакого сомнения в том, что эта темная полоска есть не что иное, как скопление темных туманностей, состоящих из космической пыли, плотность которых растет с приближением к экваториальной плоскости этих систем. Они поглощают свет погруженных в них мириад звезд так же, как они делают это в нашей звездной системе, и создаваемая ими чернота ясно говорит о том, как велико это поглощение.

Так исследования последних десятилетий обнаружили универсальность метеоритного вещества, его распространенность во Вселенной.

Убедившись в чрезвычайной распространенности пылевого вещества во Вселенной, в том, что это один из основных элементов мироздания, мы можем быть подготовлены и к тому, что именно из этого материала формируются по крайней мере некоторые миры, хотя в пространстве между звездами существует, помимо пыли, также и огромное количество разреженного газа, также могущего быть материалом для формирования других небесных тел.

Когда же в телескоп астроном покажет вам в сияющей дали Млечного Пути темное пятно, то не считайте его больше бесконечной пустотой, которой нет предела и которая есть «ничто». Примите его скорее как невидимую колыбель, в которой в этот момент переживает младенчество новый мир. Быть может, в далеком будущем ему суждено стать планетой, подобной той, которая принесла нам жизнь и с которой мы постигаем тайны природы, еще недавно казавшиеся неразрешимыми.



# МИР ГАЗА

## ЧАСТЬ [illegible]

## *МИР ГАЗА*

*В известной нам части Вселенной газ является преобладающей формой вещества. В мировом пространстве разреженный газ образует облака колоссальных размеров, называемые туманностями, а уплотненный в огромные раскаленные шары он образует звезды, подобные нашему Солнцу. Разреженнейший газ заполняет пространство между звездами.*

*Строение вещества в форме газа более просто, чем в твердых телах,— в мировом пространстве газы состоят из атомов и простейших молекул, там нет минералов, горных пород и органических веществ.*

*Изучение небесных газообразных тел очень расширяет наши представления о строении и поведении вещества вообще. Оно дополняет выводы, получаемые в физических лабораториях, так как позволяет наблюдать вещества в таких состояниях, при таких давлениях и температурах, которые неосуществимы в лабораториях. Так изучение гигантских небесных тел позволяет проникнуть в тайны мельчайших частиц вещества, в недра атомов. Изучение газовых миров раскрывает нам не только законы развития материального мира, но и приносит практическую пользу, так как знание законов природы необходимо для ее покорения и изменения.*

ГЛАВА 6



# БЛИЖАЙШАЯ К НАМ ЗВЕЗДА — СОЛНЦЕ

## ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО

Солнце! Животворящее, ясное, красное, лучезарное! Сколько эпитетов дается тебе! Ты и источник жизни на Земле, ты и глава планетной семьи, ты и ближайшая к нам звезда, ибо каждая звезда — солнце. Можно подойти к Солнцу с разных точек зрения. Есть что сказать о нем и метеорологу, и радисту, и врачу, и ботанику, и химику, и поэту, не говоря уже об астрономах. Много явлений обнаружено на Солнце, и описания многих из них напоминают те, которые делаются в метеорологических обсерваториях при регистрации перемены погоды, сложных движений атмосферных масс. Лишь будущему, но надеемся, близкому, предстоит теоретически охватить эти факты и уложить их в стройную картину физической природы Солнца.

Мы наблюдаем бурные изменения на Солнце, но причина их нам часто далеко еще не ясна, хотя общее строение Солнца нам уже довольно хорошо известно и за последние годы теория солнечных явлений сильно продвинулась вперед. Солнце ближе к нам, чем другие звезды, и его можно изучить особенно подробно. Результаты его изучения помогают уяснить природу других далеких солнц, видимых лишь как светлые точки даже в самые сильные телескопы. Познакомимся же с Солнцем, как с представителем мира бесчисленных звезд.

Раскаленный газовый шар, излучающий потоки тепла и света, единственный их источник в Солнечной системе,— вот что такое ближайшая к нам звезда.

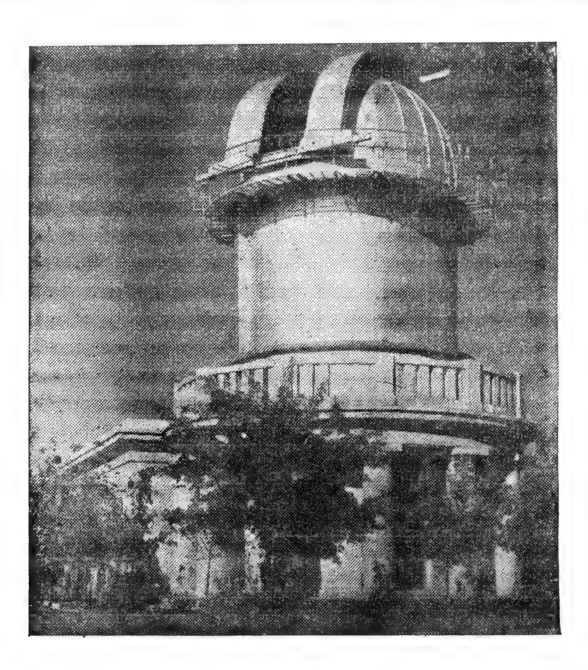


Рис. 114. Один из крупнейших в мире инструментов для исследования Солнца — башенный солнечный телескоп Крымской обсерватории.

Нам известна энергия Солнца по той ее доле, которая падает на Землю с расстояния в полтораста миллионов километров. С учетом поглощения в атмосфере на квадратный сантиметр поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам, за минуту падает энергия, которой достаточно, чтобы нагреть два грамма воды на 1 градус. Эта величина несколько меняется с изменением расстояния от Земли до Солнца и, вероятно, в связи с явлениями, протекающими на нашем центральном светиле. До того как были заподозрены колебания в излучении Солнца, эту величи-

ну назвали «солнечной постоянной». Геофизики определяют ее прямыми опытами почти ежедневно, например, наблюдая нагревание воды в особых сосудах, выставленных навстречу солнечным лучам.

Умножив солнечную постоянную на величину поверхности сферы с радиусом в полтораста миллионов километров, мы узнаем полное излучение Солнца. Оно составляет $5{,}43 \cdot 10^{27}$ калорий в минуту. Если эту мощность теплового излучения перевести в механическую мощность, то она составит $5 \cdot 10^{23}$ лошадиных сил. Эту величину трудно себе представить и, может быть, лучше сказать, что если бы мы могли мгновенно обложить Солнце слоем льда толщиной 12 *м*, то уже через минуту этот слой растаял бы. Если бы мы могли от Земли к Солнцу перебросить мост в виде ледяной колонны толщиной 3 *км* и могли сосредоточить на нем все излучение Солнца, то уже через секунду он бы растаял, а еще через 8 секунд обратился бы в пар.

Солнечный свет создает на Земле освещение, в 465 000 раз более яркое, чем освещение полной Луны, и чтобы его заменить, нужно 135 000 стандартных (международных) свечей, поставленных на расстоянии 1 *м*.

Зная расстояние до Солнца и его видимый угловой диаметр ($^1/_2{}^\circ$), мы легко узнаем его линейные размеры. Диаметр Солнца больше земного в 109 раз, поверхность в $(109)^2$, или в 12 000 раз, и объем в $(109)^3$, что составляет 1 300 000 раз. (В километрах диаметр Солнца составляет 1 390 600, но число это мало наглядно.)

Разделив полное излучение Солнца на величину его поверхности, мы узнаем, что один ее квадратный сантиметр светит как 50 000 международных свечей. Поверхность Солнца в 10 000 раз ярче расплавленной платины и в 10 раз ярче пламени электрической дуги. Доля света в общем потоке энергии, идущем от Солнца, характеризуется величиной 8 свечей на ватт, тогда как для обычных электрических ламп накаливания она составляет не более 2 свечей на ватт.

Такой высокий коэффициент светового полезного действия солнечного вещества обязан его высокой температуре.

Мощность излучения с единицы поверхности Солнца, получаемая от деления всей его мощности на

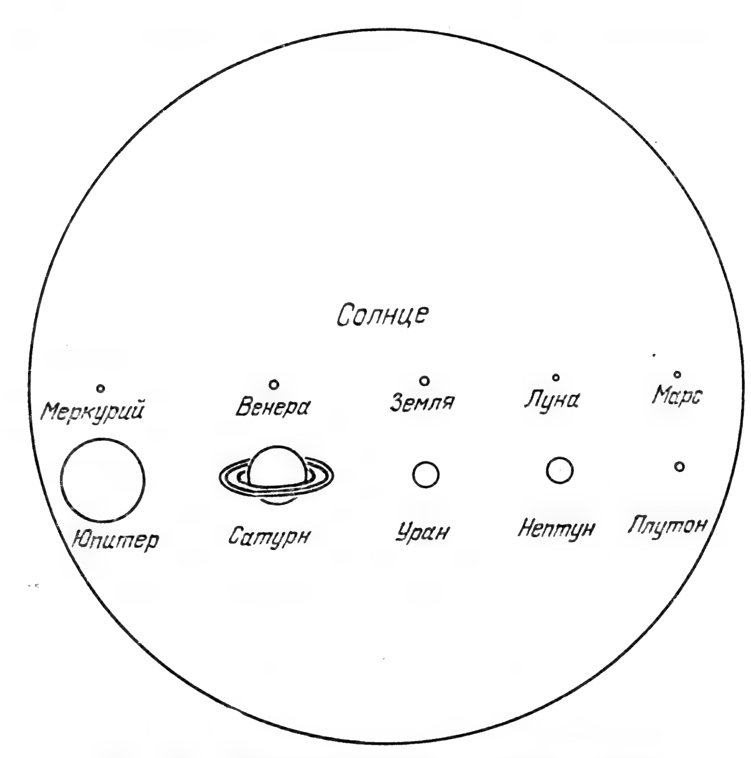



Рис. 115. Сравнительные размеры Солнца и планет.

величину его поверхности, составляет 84 000 лошадиных сил на квадратный метр, и эта мощность поддерживается, несомненно, в течение сотен миллионов или даже миллиардов лет. Как устойчивы и мощны должны быть источники энергии в недрах Солнца! Мы поговорим о них в другой главе, а тут лишь укажем, что только ничтожная часть энергии, щедро

расточаемой Солнцем, используется планетами. На долю Земли приходится лишь 1/2200000000 ее часть. Тем не менее и она колоссальна. Если ее расценить на деньги по цене 2 коп. за киловатт-час, то окажется, что за секунду Земля получает энергии от Солнца на миллиард рублей.

Можно сказать, что эти деньги буквально бросаются на ветер, так как ветер есть перемещение воздуха, возникающее от неодинакового нагревания различных мест земной атмосферы и поверхности Земли. Впрочем, не все эти деньги идут на ветер..., бóльшая их доля утекает от нас вместе с водой (с водой рек и с потоками дождя). Часть солнечной энергии используется растениями, а небольшая доля этой части используется нами как топливо в виде торфа, дров и каменного угля.

О прямом использовании солнечной энергии сверх того, что нам дает движущая сила ветра и воды, приводимых в движение Солнцем, говорится давно. Разрешение этой задачи встречает много трудностей, но надо прямо сказать, что инженеры-энергетики уделили этому вопросу еще слишком мало внимания. Например, в СССР до сих пор имеются только небольшие пробные установки вроде солнечной бани и солнечной кухни в Ташкенте. Надо также отметить использование солнечной энергии на искусственных спутниках Земли и Солнца путем применения кремниевых фотоэлементов, превращающих световую энергию Солнца в фотоэлектрическую.

## СФЕРА СВЕТА

«Сфера света» — или по-гречески *фотосфера* — так назвали видимую нами поверхность Солнца. В сущности говоря, этой поверхности вовсе нет..., так как к нам доходят лучи Солнца с разной глубины той массы газов, из которой оно состоит. Из более глубоких слоев свет приходит, конечно, более ослабленным, вследствие неполной прозрачности верхних слоев, и, начиная с некоторой глубины, он не доходит до нас вовсе. Непрозрачность солнечных газов

особенно сильна в более холодных, самых внешних слоях.

Непрозрачность их обусловлена примесью отрицательных ионов водорода (это атомы водорода, к которым «присоединилось» по электрону). Поэтому

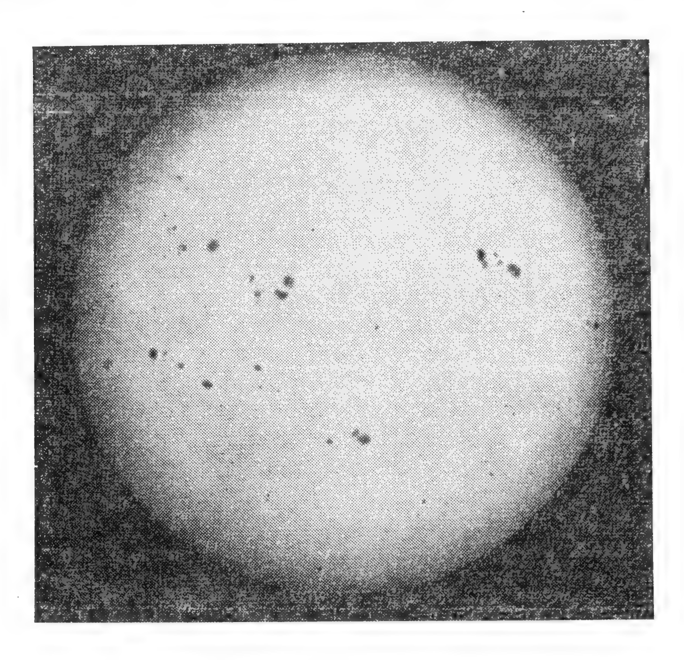


Рис. 116. Фотография Солнца с пятнами. Заметно потемнение диска Солнца на краю.

солнечный край кажется вполне резким, а не размытым, хотя и нет очень резкого скачка в плотности солнечных газов, который можно было бы считать границей или поверхностью Солнца.

Солнце к краям заметно темнее, чем в центре, и это — следствие малой прозрачности фотосферных слоев. В центре Солнца до нас доходит свет от более глубоких и горячих слоев, а на краях он приходит от менее глубоких и менее горячих, а потому и менее ярких слоев фотосферы.

Практически мы почти не видим слоев, лежащих глубже сотни километров под тем слоем, который уже граничит с солнечной атмосферой, хотя ослепительно яркие газы фотосферы разреженнее, чем атмосферный воздух, примерно в миллион раз.

Температура «поверхности» Солнца или фотосферы — понятие условное. Чем глубже внутрь Солнца, тем выше температура его слоев. Температура фотосферы — это нечто среднее из температур его внешних слоев. Ее можно определить многими способами, например, по распределению энергии в непрерывном спектре, который характеризует излучение фотосферы. В действительности спектр фотосферы есть наложение друг на друга непрерывных спектров, соответствующих разной температуре разных наружных слоев Солнца. Этот сложный спектр и есть спектр фотосферы, но он достаточно близок к спектру абсолютно черного тела при температуре в 6000°. Эту температуру и принимают за температуру солнечной фотосферы. Часто говорят для краткости, что 6000°— это температура Солнца.

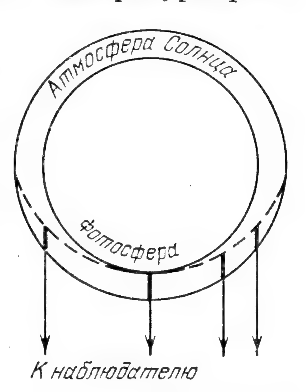


Рис. 117. Неодинаковый ход лучей сквозь атмосферу Солнца.

В действительности температура и плотность газов Солнца с глубиной меняются.

Еще до того как были выяснены все эти подробности, проф. В. К. Цераский проделал в Москве следующий интересный опыт, показывающий нижний предел температуры Солнца. Он взял большое вогнутое зеркало 1 *м* диаметром, собирающее лучи Солнца в фокусе, где получается изображение Солнца диаметром 1 *см*. Можно доказать, что в этом месте температура не может быть выше температуры Солнца. Однако в этом месте у Цераского плавились самые тугоплавкие вещества. Неудивительно, что у поверхности Солнца все вещества, включая металлы,

находятся в виде раскаленных паров. Между тем эти слои, вдвое более горячие, чем пламя электрической дуги, холоднее, чем недра Солнца, энергия которых поддерживает температуру фотосферы, теряющей энергию лучеиспусканием. Фотосфера — это вечно

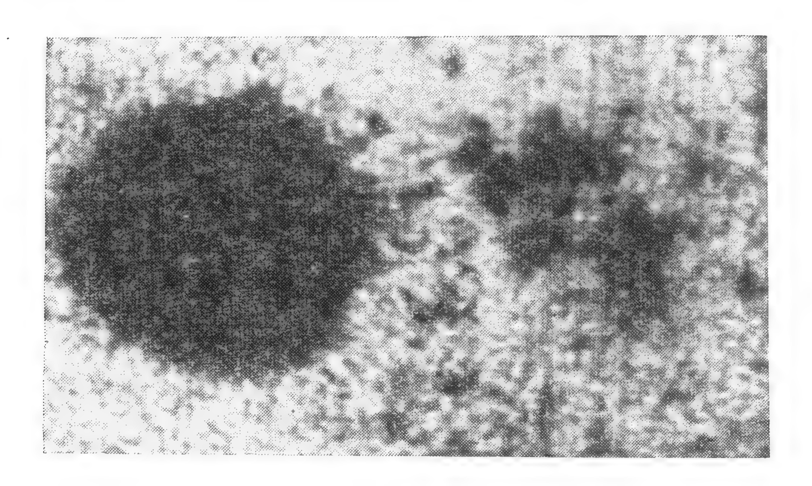


Рис. 118. Грануляция солнечной фотосферы. Черная тень — солнечное пятно.

настежь открытая дверь, через которую улетучивается запас солнечной энергии.

Было бы неверно думать, что фотосфера Солнца однородна.

Фотосфера имеет зернистое строение, и ее продолговатые зерна называются гранулами. Однако эти «зерна» имеют размеры порядка тысячи километров и состоят из раскаленных газов. Гранулы хорошо видны в небольшой телескоп. Они постоянно возникают и распадаются быстрее, чем облака в нашей атмосфере, они существуют лишь по несколько минут. Поэтому гранулированная поверхность Солнца похожа на кипящую рисовую кашу, и настолько, что иногда при киносъемке для изображения солнечной поверхности эту кашу и фотографируют. Светлые

гранулы — это поднимающиеся вверх струи горячего газа. В темных промежутках между ними газ опускается — он там холоднее. Так в верхних слоях Солнца происходит конвекция. Благодаря ей тепло из более глубоких слоев подводится к наружным слоям.

Небольшие яркие образования, называемые факелами, часто бывают видны, особенно на краю Солнца, где оно темнее. Это показывает, что факелы — облакообразные массы газа в верхних слоях фотосферы. Их большая видимая яркость на краю диска лишь частично обусловлена их более высокой температурой, которая по измерениям пулковских астрономов выше, чем у соседних нижних слоев, всего лишь на 100°.

В верхних слоях факел горячее, чем фотосфера, примерно на 2000°. Еще в большей мере однообразие фотосферы нарушается появляющимися на Солнце темными пятнами.

## И СОЛНЦЕ НЕ БЕЗ ПЯТЕН

«И Солнце не без пятен»,— с огорчением констатировали в XVII веке современники их открытия. Да, и Солнце не без пятен..., но не всегда. Как известно, число пятен и площадь, занятая ими, меняются периодически, хотя и не очень правильно, с периодом в 11 лет. Последний максимум пятен был в 1968 г., а в год минимума иногда целые месяцы на Солнце нет ни одного пятна. Каждый цикл они зарождаются по обе стороны от экватора Солнца на широтах около 30° и по мере увеличения их числа появляются все ближе и ближе к экватору. Последние пятна умирающего цикла появляются почти у самого экватора, но близ полюсов их не бывает никогда.

Если вы закроете ослепительную фотосферу диафрагмой в фокусе окуляра телескопа так, чтобы в нее было видно лишь «черное» солнечное пятно, то берегитесь смотреть на него без темного стекла — вы ослепнете. Понятие черноты относительно, и темные

вследствие контраста на фоне фотосферы пятна сами по себе тоже ослепительно ярки.

Пятна появляются обычно группами, в которых происходят непрерывные изменения: появление новых пятен, изменение формы старых, а чаще всего их дробление на части и постепенное исчезновение.

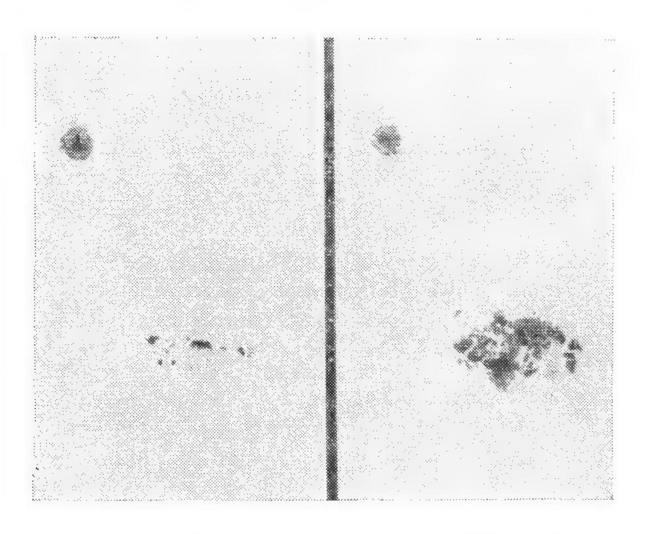


Рис. 119. Изменение в группе солнечных пятен.

Иногда они существуют лишь несколько дней, иногда — несколько месяцев.

Пятно состоит обычно из ядра, или «тени», окруженной более светлой «полутенью» как бы волокнистого строения со следами завихрения вокруг центра пятна. Центр пятна лежит обычно ниже окружающей фотосферы, но «не намного» — на сотни километров, тогда как по площади пятна обычно больше площади Европы и даже больше площади земного шара.

Меньшая яркость пятен вызвана меньшей температурой солнечных газов в этих местах. Судя по спектру, она составляет около 4500° и равна температуре звезд оранжевого цвета, тогда как спектр фото-

сферы такой же, как спектр более горячих желтых звезд. Более низкая температура допускает образование в пятнах большого числа молекул химических соединений, тогда как в фотосфере эти соединения встречаются в небольшом количестве. Если там из

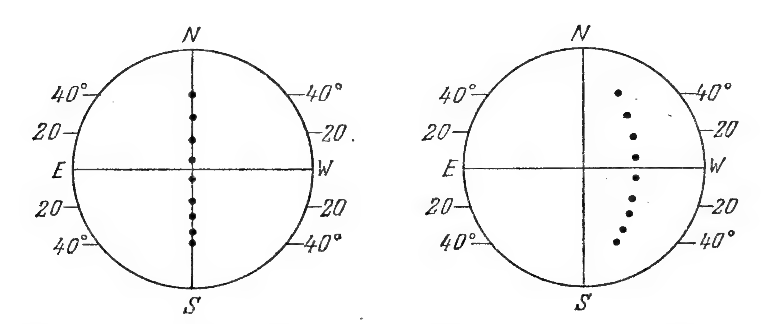



Рис. 120. Солнце вращается не как твердое тело. Чем ближе к экватору, тем больше поворот точек диска за сутки.

каких-либо сцепившихся друг с другом атомов и сложится молекула, то она обычно сейчас же будет разбита на части при бешеных столкновениях с другими частицами, возникающих при высоких температурах.

Появляясь на одном краю Солнца и перемещаясь по видимому диску, солнечные пятна представляют прекрасную возможность убедиться во вращении Солнца вокруг оси. Определенные по различным пятнам периоды вращения Солнца, дополненные спектральными определениями вращения (о чем говорилось в первой главе) и другими методами, показывают, что Солнце вращается не как твердое тело. До некоторой степени вращение фотосферы можно сравнить с вращением чая, который энергично перемешивается в стакане с помощью ложечки. Там быстрее всего крутится середина, а края отстают. На Солнце же точки его экватора делают оборот за 25 суток, а на широте 60° период обращения доходит до 30 суток. С космической точки зрения Солнце вращается очень лениво, на экваторе линейная скорость вращения составляет всего лишь 2 *км/сек*.

Юпитер и Сатурн также вращаются зонами подобно Солнцу и быстрее на экваторе, но с периодом всего лишь около 10 часов. Для них, как и для Солнца, причина такого зонального вращения неизвестна, но ясно, что твердая поверхность не могла бы так вращаться.

В Советском Союзе и в других странах ведется ежедневная регистрация пятен и других явлений на Солнце. Она называется Службой Солнца и ведется по общему плану рядом обсерваторий. Эта работа необходима для изучения природы Солнца и для выяснения того, как происходящие на нем изменения влияют на Землю. Поэтому изучение Солнца было включено в программу работ по Международному геофизическому году (1957—1958).

Наблюдения солнечных пятен и их изменений доступны для всякого любителя, обладающего хотя бы самым маленьким телескопом *).

## НАБЛЮДЕНИЕ НЕВИДИМОГО И АНАТОМИЯ СОЛНЦА

Астрономы — такой народ, что они не только узнают всю подноготную там, где непосвященное око видит только мерцающую точку, но и умудряются наблюдать невидимое. Одним из многочисленных примеров этого является наблюдение ими магнитности пятен и распределения спектрального излучения химических элементов *на разной высоте* над фотосферой.

Линии спектра источника света в магнитном поле меняются. Они расщепляются, каждая на несколько линий, причем свет каждой из них особым образом поляризован. Не вдаваясь в длинное описание явлений поляризации, скажем лишь, что поляризованный свет можно отличить от обычного особыми способами, разработанными физиками. Расстояние между линиями спектра, на которые первоначальная линия расщепляется в магнитном поле, растет с напряже-

---

*) Желающим познакомиться с Солнцем несколько подробнее и получить руководство для самостоятельного его наблюдения рекомендуем книгу В. В. Шаронова «Солнце и его наблюдение», Гостехиздат, 1953.

нием магнитного поля. Это явление хорошо изучено в лабораториях. Темные линии в спектре солнечных пятен обнаруживают подобное же расщепление, из чего следует, что в области солнечного пятна существует магнитное поле, напряжение которого доходит иногда до 8000 гаусс. Это — весьма сильное поле, хотя в лабораториях электромагниты могут давать еще более мощное поле.

Кто не знает, что у всякого магнита есть всегда два полюса — северный и южный. На магнитах,

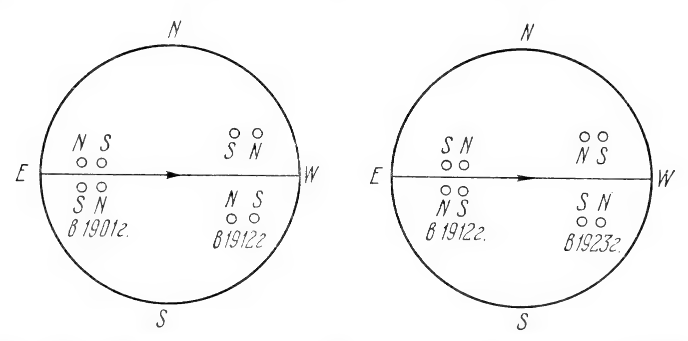



Рис. 121. Изменение магнитной полярности солнечных пятен.

имеющих форму бруска или подковы, их красят обычно в разный цвет — красный и синий. Вот тут-то и оказалась любопытная вещь: солнечные пятна чаще всего появляются парами, и тогда магнетизм одного пятна северный, другого — южный.

Два пятна в паре — как бы два конца магнитной подковы, спрятанной под поверхностью Солнца и высовывающейся сквозь нее этими концами. Мало того, во всех парах пятен одного полушария Солнца переднее пятно (в сторону вращения Солнца) имеет всегда один и тот же магнетизм (скажем, южный), в другом же полушарии Солнца магнетизм каждого переднего пятна противоположный (северный). Это длится 11 лет, и когда начинается новый цикл солнечных пятен, то магнетизм пятен северного и южного полушарий Солнца меняется местами.

В 1958 г. Бэбкок (США) заключил, что общее, хотя и слабое магнитное поле Солнца меняет свое направление. Так, если северный магнитный полюс в течение 11-летнего цикла был в северном полушарии Солнца, то в следующем цикле он оказывается уже в южном полушарии. Почему это происходит — еще не ясно, но силовые линии общего поля Солнца входят в другую полярную область. Силовые линии замыкаются, проходя и внутри Солнца, не очень глубоко под фотосферой.

Мы видим Солнце и все подробности его поверхности в совокупности лучей разных длин волн. Поверхность Солнца излучает непрерывный спектр. Но лежащие над ней более холодные и разреженные слои благодаря процессам рассеяния, описанным в первой главе, вызывают появление в спектре Солнца темных линий, носящих имя немецкого ученого Фраунгофера, который первый их изучил. Мы уже говорили, что темные линии спектра не бывают абсолютно черными, некоторая доля света в них все же есть. Эта доля много меньше количества света, посылаемого непрерывным спектром в той же длине волны, и еще во много раз меньше суммарного света, заключенного в непрерывном спектре.

Если бы наш глаз потерял чувствительность ко всем длинам волн, кроме одной из длин волн, соответствующей одной из линий спектра определенного химического элемента, скажем, водорода, то мы увидели бы Солнце совсем иным, чем видим его сейчас. В тех местах, где над поверхностью Солнца много более холодного водорода поглощение света в нашей длине волны оказалось бы особенно сильным. Там мы видели бы темное пятно. Где же над поверхностью Солнца окажутся более горячие водородные газы, там излучение света в нашей длине волны будет сильнее, чем в соседних местах, и там мы увидим светлое пятно. Таким образом, мы получили бы возможность сразу увидеть распределение над поверхностью Солнца горячих и холодных водородных масс.

Именно такую возможность видеть Солнце «в свете длины волны водородной линии» дает нам прибор

*спектрогелиоскоп*, изобретенный Хэйлом в США в 1930 г. Спектрогелиоскоп можно представить себе как спектроскоп, в котором весь спектр загорожен ширмой со щелью $F_2$, через которую проходит свет только одной желаемой «темной» спектральной линии. За этой щелью находится окуляр, в который смотрит наблюдатель. Ему в глаза попадает свет только с длиной волны линии, выделенной щелью в ширме.

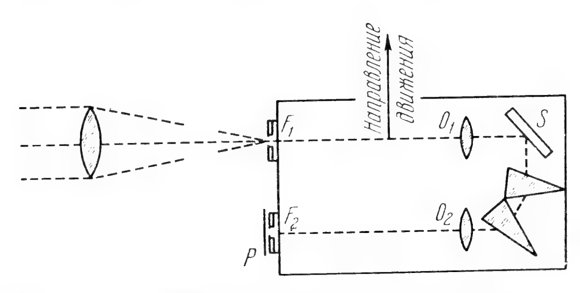
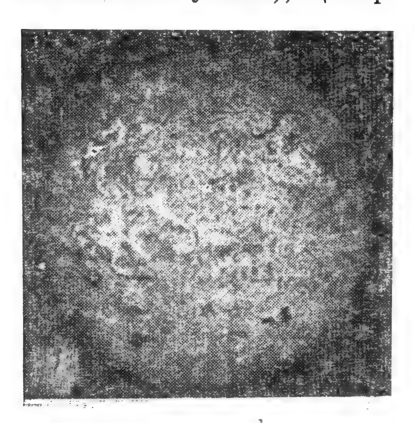



Рис. 122. Схема устройства спектрогелиографа, $S$ — зеркало, $O_1$ и $O_2$ — объективы.

На щель спектроскопа $F_1$ падает изображение Солнца, даваемое телескопом и приводимое особым приспособлением в быстрое колебательное движение поперек щели. Картины быстро сменяющихся узких полосок, вырезаемых щелью спектроскопа из изображения Солнца, прикладываясь друг к другу, создают благодаря сохранению зрительного ощущения впечатление полной картины солнечного диска. Выделяя щелью ширмы разные линии в спектре, можно изучать распределение над поверхностью Солнца разных газов: водорода, гелия, натрия, кальция и других.

С помощью прибора несколько иной конструкции, называемого спектрогелиографом и изобретенного раньше спектрогелиоскопа Деландром во Франции и тем же Хэйлом в США, подобные изображения Солнца можно фотографировать. Место глаза за щелью $F_2$ там занимает движущаяся фотографическая пластинка $P$. Такие фотографии называются спектрогелиограммами.

Теория показывает, что в темных линиях спектра, имеющих фактически некоторую ширину (а вовсе не бесконечно узких), центр линии образован поглощением газов, находящихся на большей высоте над поверхностью Солнца, чем газы, производящие поглощение света у краев линий. Так, выделяя очень узкой щелью разные части широких темных линий спектра Солнца, можно делать как бы срезы газовых слоев на разной высоте над фотосферой. Это — форменная анатомия внешних частей Солнца.



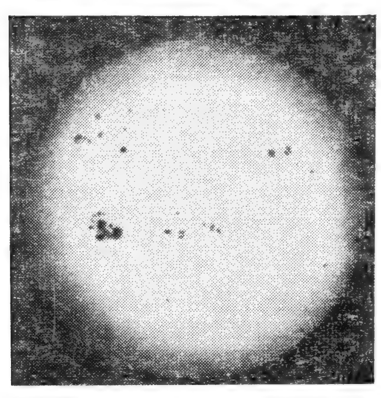


Рис. 123. Спектрогелиограмма Солнца в лучах водорода. Видны светлые флоккулы вокруг пятен и темные волокна. Внизу — обычная фотография Солнца.

На спектрогелиограммах отчетливо проявляется не видимая в обычный телескоп структура водородных масс в области пятен, о чем говорилось выше. Кроме того, пятна, как правило, бывают окружены яркими облаками горячего водорода и кальция (флоккулами). Флоккулы — это верхние части областей, занятых факелами. Это сопровождение областей похолодания на Солнце облаками горячих газов и вызывает то, что в годы максимума площади, занятой холодными пятнами, общее излучение Солнца, по-видимому, не понижается. Изучение спектрогелиограмм в связи с измерениями скоростей движения газов в разных местах

Солнца показывает сложную циркуляцию газов в пятнах.

В нижней части пятна газ течет горизонтально от центра к периферии, а в более высоких слоях газы втекают сверху и сбоку внутрь пятна. Скорости достигают 10 *км/сек*. Однако пятна — спокойные образования, где конвекция подавлена сильным магнитным полем. Вокруг же пятна, в области флоккул, магнитное поле слабо и усиливает конвекцию ионизованного газа, называемого плазмой.

Солнечные газы охвачены непрерывной и мощной циркуляцией, законы которой для нас все еще гораздо «темнее», чем сами пятна.

## ПОКРЫВАЛА СОЛНЦА

Хотя фотосфера сама состоит из разреженных газов, она окружена атмосферой, еще более разреженной. Быть может, лучше сказать, что Солнце окружено несколькими покрывалами или оболочками, как бы вложенными одна в другую, так что солнечная атмосфера состоит из нескольких слоев. Атмосфера Солнца, более разреженная, чем фотосфера, почти совершенно прозрачна. Через нее, как через чистое стекло, мы видим фотосферу, а ее самое не видим, так же как стекло. Атмосфера Солнца нагрета до нескольких тысяч градусов и потому испускает свет.

Сравнительно тонкий и разреженный слой атмосферы испускает не непрерывный спектр, а яркие линии, но их свет так слаб, что на светлом фоне неба вблизи края Солнца атмосфера не видна. Небо, освещенное Солнцем вблизи его края, ярче, чем атмосфера Солнца. Там же, где сквозь атмосферу видна фотосфера, свет последней поглощается по уже известным нам причинам в длинах волн, которые атмосфера испускает.

Поглощение атмосферой Солнца света в определенных длинах волн и производит появление в непрерывном спектре фотосферы темных, фраунгоферовых линий.

Но если атмосфера Солнца, проектирующаяся на его диск, прозрачна, а у его края невидима из-за яркого света неба, то можем ли мы узнать ее строение?

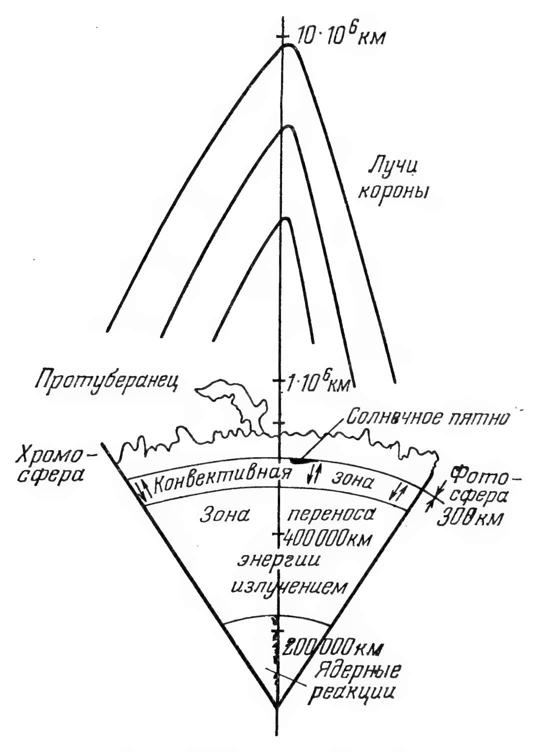



Рис. 124. Строение Солнца.

Да, можем. Нам помогают в этом полные солнечные затмения. Когда Луна закрывает собой ослепительно яркий диск Солнца, то небо около Солнца, уже не освещаемое его прямыми лучами, темнеет. Тогда на потемневшем фоне неба из-за края Луны становится видна солнечная атмосфера, как яркое кольцо, окаймляющее темный круг Луны. Стоит выглянуть из-за Луны крошечному кусочку яркой фотосферы, как небо тотчас же опять светлеет, и атмосфера

Солнца снова делается невидимой. Атмосферу Солнца во время полного затмения можно наблюдать всего лишь несколько минут, не больше. К тому же полные затмения Солнца, видимые в таких местностях, куда удобно снарядить экспедиции, бывают редко, так что в общей сложности таким путем солнечную атмосферу мы видели только около одного-двух часов, — и это с тех пор, как наука ею впервые заинтересовалась!

Солнечной атмосферой обычно называют слой газов, более разреженных, чем газы фотосферы, и убывающий в плотности с удалением от нее. Этот слой изменяющейся толщины во время полных затмений «высовывается» из-за темного края Луны либо в виде красноватого кольца, либо в виде серпа, в зависимости от обстоятельств и фазы затмения. За розовый цвет эту оболочку Солнца назвали *хромосферой*, а розовый цвет ей придает излучение водорода, которого в хромосфере всего больше. Спектр хромосферы состоит из ярких линий на темном фоне. Нижние ее части содержат все те газы, которые своим поглощением в более плотных наружных слоях Солнца вызывают появление в его спектре темных линий. Спектр нижних частей хромосферы, состоящий из множества ярких линий, виден очень недолго, обычно 2—3 секунды, и был назван спектром вспышки: его линии вспыхивают почти на мгновение. Линии разных химических элементов, составляющих хромосферу, наблюдаются до разной высоты. Выше всего наблюдаются линии ионизованного кальция — до 14 000 *км*, хотя он и тяжелее, чем водород.

Видимая граница хромосферы, различная для разных газов, кроме того, все время колеблется, так как она, по-видимому, не является неподвижным, спокойным напластованием слоев газа. Она образуется, скорее, за счет выбросов газов вверх в форме бесчисленных струй или фонтанов, вздымающихся из обращающего слоя или даже из фотосферы. Представьте себе бесчисленное множество мелких фонтанчиков, струи которых сливаются в сплошную водяную стену, — вот будет примерная модель

хромосферы. Хромосфера, другими словами, является не статическим, а динамическим образованием.

Во всяком случае, наличие мощных вертикальных движений газа в хромосфере и из нее и даже взрывоподобные выбросы газа наблюдаются нами непрестанно.

## ВЫСОЧАЙШИЕ В МИРЕ ФОНТАНЫ

Во время полных затмений Солнца даже невооруженным глазом видны выходящие из атмосферы гигантские фонтаны раскаленного газа, называемые протуберанцами. Впервые в истории такой протуберанец был отмечен в Древней Руси в 1185 г., но физическая природа протуберанцев была выяснена лишь многими веками позднее. Выброс газов происходит со скоростями, доходящими до нескольких сотен километров в секунду, но, как ни огромны эти скорости, они, как правило, недостаточны для отрыва протуберанцев от Солнца. На солнечной поверхности критическая скорость, при которой тело может уже преодолеть солнечное тяготение и улететь в бесконечность, составляет 617 *км/сек*. Газы протуберанцев, быстро вздымающиеся вверх, растягиваются в обширные облака, и рассеиваясь, снова оседают вниз. Высота выброса протуберанцев колоссальна. Например, в 1928 г. наблюдали протуберанец, достигший высоты 900 000 *км*, т. е. 1,3 солнечного радиуса. Это в $2^1/_2$ раза больше расстояния от Луны до Земли. В 1946 г. наблюдался протуберанец еще вдвое более высокий. При огромной скорости извержения изменения в протуберанцах происходят очень быстро, буквально на наших глазах.

Кроме таких протуберанцев, называемых изверженными, или эруптивными, и состоящими почти из всех газов, входящих в состав хромосферы, на краю Солнца видны еще спокойные протуберанцы. Они имеют вид огромных облаков, плавающих над хромосферой и соединяющихся с ней отдельными колоннами или отростками; они излучают линии водорода, ионизованного кальция и гелия. Длина их

доходит иногда до 600 000 *км* — это в 50 раз больше диаметра Земли, а между тем такой протуберанец — сравнительно лишь небольшой, временный придаток солнечной атмосферы.

Средний протуберанец плавает на такой высоте над поверхностью хромосферы, что по ней под протуберанцем свободно мог бы катиться земной шар. При средней толщине, равной диаметру Земли, при

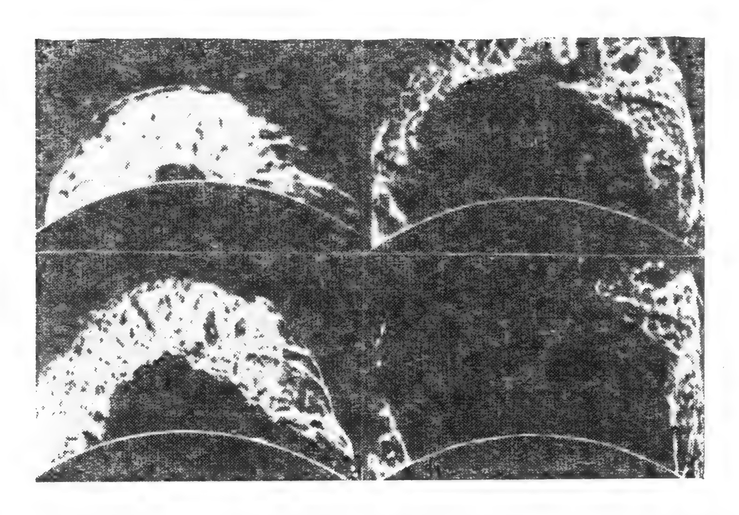


Рис. 125. Фотографии, показывающие изменение вида протуберанца.

длине 20 000 *км* и высоте 50 000 *км* протуберанец имеет объем в 100 раз больше объема Земли, но так как он состоит из разреженных газов, то его масса равна всего лишь $10^{18}$ *г*, или массе куба воды с длиной стороны в 15 *км*, т. е. все же больше массы мелких астероидов.

Число протуберанцев на Солнце меняется ото дня ко дню, но в среднем оно растет и убывает вместе с размером площади, занятой солнечными пятнами. Кроме того, изверженные протуберанцы зарождаются вблизи солнечных пятен, тогда как спокойные протуберанцы встречаются в любых местах солнечной поверхности.

Протуберанцы видны «в профиль» на краю Солнца во время полных затмений, но их можно видеть и «сверху» в проекции на солнечный диск. Имея, как и хромосфера, температуру около 10 000°, они поглощают свет фотосферы в длинах волн, соответствующих поглощательной способности атомов, из которых они состоят. Поэтому на спектрогелиограммах они

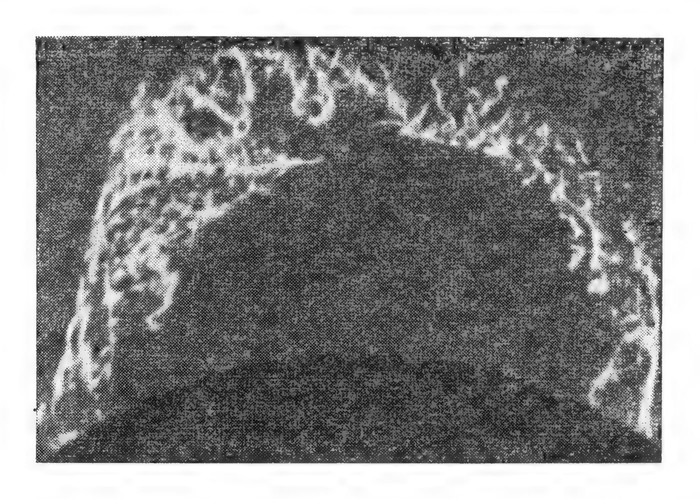


Рис. 126. Еще одна фотография протуберанца. Сложные движения вещества протуберанца свидетельствуют о наличии на Солнце электромагнитных сил.

видны как длинные темные волокна. С помощью особого метода, описываемого ниже, можно постоянно наблюдать протуберанцы на краю Солнца. Таким образом, мы можем наблюдать протуберанцы ежедневно по всему солнечному диску.

Протуберанцы поддерживаются на большой высоте, по-видимому, электромагнитными силами, но величина их как от места к месту, так и в одном и том же месте в связи с какими-то физическими процессами меняется, иногда даже скачками. Скорости движения протуберанцев, как это недавно выяснилось, тоже иногда меняются скачками.

Звезды, так же как Солнце, должны иметь фотосферу и атмосферу, состоящую из обращающего слоя и хромосферы. Отличие их по температуре, составу и по строению от того, что есть на Солнце, и обусловливает различие между спектрами Солнца и звезд, когда таковое отмечается. На звездах тоже должны быть извержения протуберанцев, хотя непосредственно их нельзя видеть.

За последнее время Лио во Франции, на Гарвардской обсерватории (США) и у нас в Крымской обсерватории, применяя особые светофильтры, пропускающие только излучение красной водородной спектральной линии, испускаемой протуберанцами, удалось заснять их на кинофильм. На этом кинофильме можно видеть в ускоренном темпе, как с поверхности Солнца выбрасываются и затем рассеиваются гигантские газовые арки. На нем видно также, как на некотором расстоянии над поверхностью Солнца возникает внезапно свечение протуберанца и как затем оно распространяется не от Солнца, а в направлении к поверхности последнего. Особенно забавно выглядят еще незадолго до этого неизвестные протуберанцы, которые поднимаются над поверхностью Солнца косо, как струя из водопроводного шланга, и которые затем, как бы подумав немного, убираются обратно в Солнце, откуда они высунулись. Они уходят назад по тому же самому пути, напоминая вытянувшегося червяка, который неожиданно сокращается. Эти замечательные снимки проливают новый свет на природу протуберанцев и указывают на наличие электромагнитных сил в процессе их изменений.

## КОРОНА ВЛАСТЕЛИНА И ЕЕ ЗАГАДКИ

Солнце часто называли властелином Солнечной системы. Эта аналогия не вполне удачна, хотя властелин планет действительно увенчан чудесной короной, и корона эта — жемчужная. Собственно говоря, это цвет ее жемчужный, а из чего «сделана» сама корона, о том речь, и речь весьма длинная, будет дальше.

Лишь во время полных солнечных затмений видим мы солнечную корону как чудесное серебристо-жем-

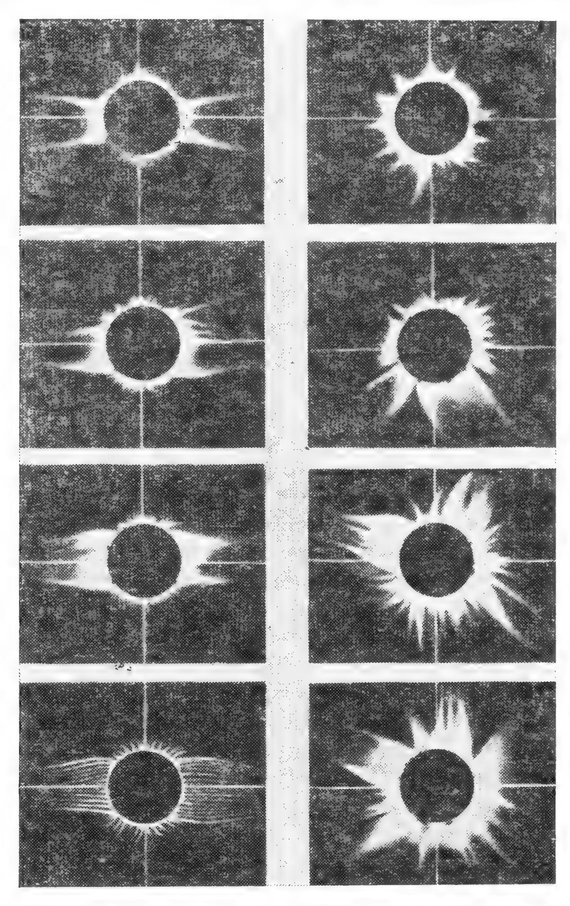


Рис. 127. Различные формы солнечной короны. Слева — формы короны в эпоху малого количества пятен на Солнце (период минимума солнечной деятельности), справа — в эпоху, когда на Солнце много пятен (период максимума солнечной деятельности).

чужное лучистое сияние, со всех сторон простирающееся вокруг Солнца. Внутренняя часть короны, более яркая, дает непрерывный спектр, на который

наложены яркие линии,— ни одну из них никто никогда не видел в лаборатории на Земле. Внешняя, менее яркая часть короны характерна лучами, достигающими в длину диаметра Солнца и даже иногда еще более длинными. Общий свет короны примерно вдвое слабее света полной Луны.

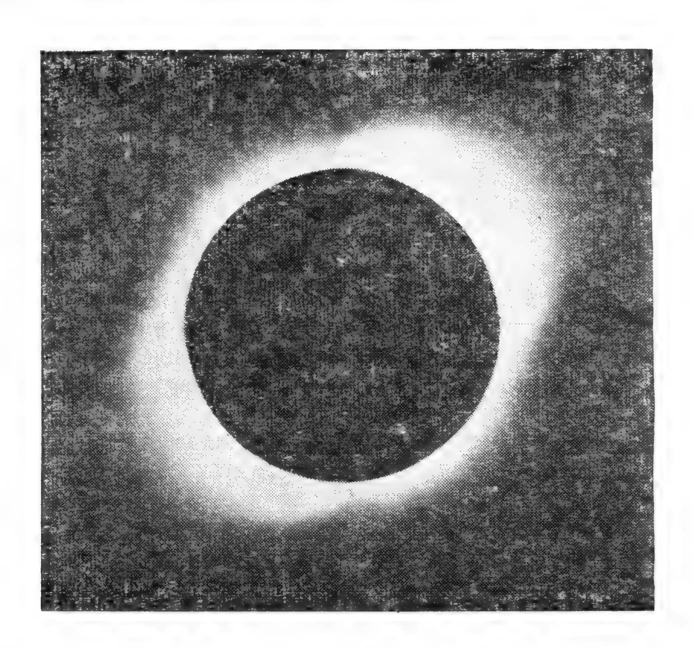


Рис. 128. Солнечная корона во время затмения 30 июня 1954 г.

Форма короны при разных затмениях различна, и еще безвременно скончавшийся в 1908 г. пулковский астроном Ганский обнаружил, что эта форма зависит от фазы солнечной активности.

Когда пятен и протуберанцев на Солнце много, у короны «растрепанный» вид. Ее искривленные лучи торчат во все стороны, как волосы на голове человека, только что вскочившего со сна. Когда же на Солнце пятен мало, то корона вытягивается вдоль солнечного экватора наподобие крыльев или опахал.

В 1942 г. советский астроном Н. М. Субботина высказала интересное предположение, что знаменитое изображение крылатого Солнца у египтян, этот их священный и любимый, наравне со скарабеем,



Рис. 129. Крылатое Солнце — священный символ в Древнем Египте, по-видимому, изображало Солнце с протуберанцами и лучами короны.

символ, есть не что иное, как изображение Солнца с его короной.

Во всяком случае корона, хорошо видимая при затмении невооруженным глазом, не могла не производить потрясающего впечатления на наблюдательных египетских жрецов, которые к тому же обоготворяли Солнце и придумали изображение крылатого Солнца.

На некоторых фотографиях затмений в эпохи, промежуточные между максимумом и минимумом пятен, солнечная корона выглядит как крылья гигантской бабочки, вспорхнувшей на небо и усевшейся на его фиолетово-синем бархатном фоне.

Несколько тысяч лет назад строители египетских пирамид взирали на чудесное и загадочное явление короны, на крылатое Солнце, но приходится признать, что и для нас оно представляет все еще немало загадок.

Мы не знаем еще точно происхождения короны и причины ее лучистости, хотя искривление корональных лучей от полюсов к экватору Солнца очень похоже на искривление силовых линий магнитного поля около намагниченного шара. Корона не спокойное, статическое образование, а пополняется непрерывно веществом, исходящим из Солнца наружу. Огромная протяженность короны и ее спектр (не чисто газовый) не позволяет нам решиться назвать корону самой внешней частью солнечной атмосферы.

Если она образуется отчасти притекающей к Солнцу метеоритной пылью, как думают некоторые, то ее, конечно, нельзя назвать атмосферой, но если она состоит из вещества, распыленного вокруг себя Солнцем, то чем тогда она не своеобразная, грандиозная атмосфера! Во всяком случае таковой должна являться внутренняя газовая корона, так как она прилегает к газам солнечной атмосферы и образует кругом последней сравнительно неширокий слой.

Внешняя корона дает спектр, который является копией спектра Солнца — непрерывный и с теми же темными линиями. Предполагают, что внешняя корона состоит из электронов, а дальше от Солнца — и из твердых частиц метеоритной пыли, рассеивающих солнечный свет. Академик В. Г. Фесенков указывал, что внешнюю корону в части ее, состоящей из приближающейся к Солнцу метеоритной пыли, нет нужды представлять себе доходящей почти до самой поверхности Солнца. Она может обрываться на расстоянии около 0,1 астрономической единицы от него, так как ближе метеоритные частички будут уже испаряться. Это, однако, не помешает нам видеть корону в качестве сияния, окружающего Солнце, и медленно растущей в яркости с кажущимся приближением к поверхности Солнца в проекции на небесную сферу.

Еще одну загадку представлял собой спектр внутренней короны, состоящий из ярких линий. Но о ней мы расскажем ниже.

Наконец несколько лет назад радионаблюдения обнаружили, что корона Солнца окружена невидимым грандиозным продолжением — внешней короной. Ее радиоизлучение слишком слабо, чтобы его можно было измерить. Но концентрация электронов в в этой короне достаточна для того, чтобы в ней происходило преломление радиолучей. В. В. Виткевич предложил наблюдать ежегодные случаи, когда очень мощный источник радиоизлучения — Крабовидная туманность (о которой говорится в разделе «Сверхвзрывы сверхновых звезд») покрывается этой короной при движении Солнца по эклиптике. Из-за рефракции радиолучей в короне «видимое» радиотелескопом

положение Крабовидной туманности и ее форма временно меняются. Так и было открыто существование внешней короны, прослеженной к 1967 г. на расстоянии до 100 радиусов Солнца, что составляет половину его расстояния от Земли!

## КАК ТРИ АСТРОНОМА ОБМАНУЛИ ПРИРОДУ

Этот «обман», как и многие другие «обманы», был основан на глубоком знании свойств той же природы. Помехи, создаваемые нашему исследованию одними свойствами природы, мы обходим, используя другие ее свойства.

26 октября 1868 г. на заседании Парижской Академии наук было зачитано только что полученное письмо английского астрофизика Нормана Локьера. Оно было датировано 20 октября и содержало описание способа, который Локьер изобрел для наблюдения протуберанцев в любое время, а не только во время полных затмений.

Этим способом Локьер с успехом наблюдал ежедневно то, что раньше удавалось наблюдать в течение нескольких минут затмения, однажды в несколько лет, да и то лишь предпринимая для этого далекие путешествия в полосу полного затмения.

Не успели еще присутствующие прийти в себя от восторга и изумления от этого ценного изобретения Локьера, как секретарь Академии взял второй конверт с почтовым штемпелем Гунтур (Индия) и зачитал письмо, вынутое им из этого конверта. Его написал французский ученый Жюль Жансен еще 19 августа, но оно только что добралось до Парижа. Жансен сообщал об открытом им способе наблюдать протуберанцы ежедневно, вне солнечного затмения. Способ Жансена оказался совершенно тождественным способу, независимо от него и в то же время открытому Локьером. Обоих ученых разделяло расстояние в четверть земной окружности.

Жансен отправился в далекое морское путешествие в Индию с целью наблюдать полное затмение Солнца 18 августа 1868 г. Наведя спектроскоп на

протуберанцы, вздымавшиеся над краем Солнца и ставшие видимыми, как только Луна скрыла Солнце, Жансен увидел, что спектр протуберанцев состоит из ярких линий.

В его мозгу блеснула неожиданная мысль, и он тотчас же крикнул откружающим: «Я увижу эти протуберанцы и без затмения!». И действительно: на следующее утро он уже показывал их всем желающим, хотя затмение давно кончилось.

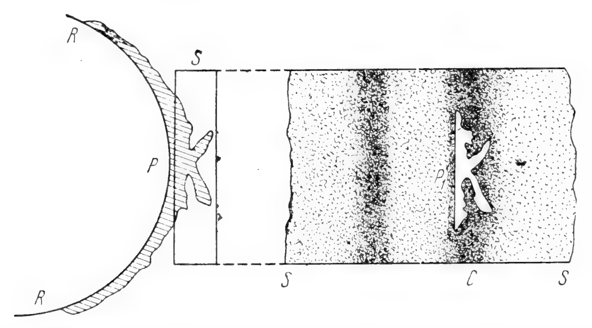



Рис. 130. Наблюдения протуберанцев с помощью спектроскопа.

Идея Жансена и Локьера состояла в увеличении контраста между протуберанцами и небом вблизи солнечного края за счет различия их спектров. В обычное время видеть протуберанцы мешает яркий фон неба, освещенного Солнцем.

Установим широкую щель спектроскопа ($S$ на рис. 130) касательно к изображению Солнца ($RPR$) в фокусе телескопа так, чтобы в нее попадало изображение протуберанца. Тогда свет протуберанца распределится по нескольким его ярким цветным изображениям (например $C$ в спектре, изображенном справа) соответственно испускаемым им длинам волн. Свет же неба, также попавший в щель спектроскопа, распределится по всему непрерывному спектру, ибо свет неба — это рассеянный свет Солнца и его спектр — это спектр Солнца.

В результате яркость цветных изображений протуберанца на фоне непрерывного спектра повысится,

контраст будет сильнее, чем при обычном наблюдении, и протуберанцы станут видны. Мало того, что они становятся видны, видно еще, из каких газов они состоят, так как изображения протуберанцев в спектре получаются лишь в тех длинах волн, которые испускаются составляющими их газами.

В память этого поразительного совпадения Парижская Академия наук выбила золотую медаль с портретами Жансена и Локьера на одной стороне. На другой был изображен бог Солнца Аполлон в колеснице, запряженной четверкой коней, и надпись: «Анализ солнечных протуберанцев 18 августа 1868 года». Но где же третий ученый, — спросите вы, так как в заголовке этого параграфа говорилось о трех ученых.

Третий ученый выступил на сцену шестьюдесятью годами позднее, и сценой этой была вершина «Полуденный пик» (Пик дю-Миди) во Французских Альпах. Ее высота 2800 *м*. Но прежде чем этот ученый достиг своего успеха, много других билось над той же проблемой и всех их постигло жестокое разочарование.

Всем хотелось увидеть протуберанцы непосредственно и сразу кругом всего Солнца, а не в спектроскоп и не обводя его щелью шаг за шагом солнечный диск. Еще больше мечтали увидеть или сфотографировать солнечную корону вне затмения.

После многих попыток и неудач ученых всех стран неизвестный дотоле немецкий астроном-любитель Блюнк в 1930 г., казалось, разрешил эту задачу. Он рассчитывал сфотографировать корону через стекло, пропускающее только инфракрасные лучи, надеясь, что в них контраст между светом короны и светом неба больше, чем в обычных лучах. После упорной работы в течение ряда лет ему удалось изготовить специального рода пластинки и опубликовать фотографию солнечной короны вне затмения. К концу своих трудов изобретатель тяжело заболел, отравившись парами ядовитых веществ, с которыми он имел дело в своих опытах. Увы, его жертва была напрасна, так как вскоре было доказано, что Блюнк

сфотографировал не корону..., а тот ореол, который создают вокруг Солнца пылинки нашей атмосферы и который можно видеть невооруженным глазом без всяких затей.

После неудачи Блюнка успех казался невозможным, но в 1930 г. француз Лио описал опыты с построенным им коронографом. С помощью него на вершинах гор, где небо темнее и чище, чем внизу, можно ежедневно видеть кругом Солнца протуберанцы и наблюдать в спектроскоп яркие линии солнечной короны, хотя ее саму непосредственно и не видно.

Лио решил, что контраст между фоном неба и протуберанцами, а также короной, будет повышен, если уменьшить рассеяние света в телескопе, поскольку нельзя в достаточной мере уменьшить его рассеяние в земной атмосфере.

Влияние последнего можно ослабить, только поднявшись на гору, оставив ниже себя наиболее сильно рассеивающие свет слои воздуха.

Как сильно уменьшает контрасты рассеяние света между источником его и наблюдателем, показывает следующий интересный опыт. Возьмите ящик и вместо одной из его стенок вставьте диапозитив светлой солнечной короны на темном фоне. Место, занятое черным диском Луны на диапозитиве, выскоблите и вставьте в ящик электрическую лампочку. Повесьте перед ящиком кусок марли, сетка которой рассеивает наподобие атмосферы идущий через нее к наблюдателю свет лампы. Закрывайте теперь понемногу прозрачный круг, освещенный изнутри лампой и изображающий Солнце. Пока на марлю (атмосферу) падает хоть единый луч лампы (Солнца), корона невидима. Как только круг Солнца вы вполне закроете подходящим непрозрачным кружком картона, так тотчас же вокруг «затмившегося Солнца» вспыхивает слабое сияние короны. Повесьте более редкую марлю, дающую меньшее рассеяние, и корона выступит еще отчетливее.

Чтобы уменьшить рассеяние света в телескопе, Лио делал объектив из наиболее прозрачного стекла, оберегал его от самых микроскопических царапин и

пылинок, устранял каждую пылинку из воздуха внутри трубы. Каждая из этих мелочей, складываясь с другими, уже заметно уменьшала рассеяние света на пути от Солнца к глазу наблюдателя и оправдывала поговорку: «с миру по нитке — голому рубашка». Установив в фокусе телескопа черный кружок, который только-только закрывал изображение Солнца, Лио мог прямо в окуляр своего коронографа видеть вокруг Солнца розовые протуберанцы.

Так трое ученых обманули природу, мешавшую нам изучать протуберанцы и корону.

В настоящее время на обсерваториях Советского Союза ведется исследование протуберанцев и короны вне затмения при помощи коронографов типа Лио, построенных в СССР.

## ХИМИЯ СОЛНЦА

Спектр нижних частей хромосферы, наблюдаемый в течение одной-двух секунд во время полных затмений (отчего он и получил название спектра вспышки), и темные фраунгоферовы линии в обычном спектре Солнца позволяют определить химический состав *солнечной атмосферы*. Надо твердо это помнить. Химический состав недр Солнца по спектру определить нельзя: мы видим спектр только атмосферы.

На Солнце мы по его спектру находим только те элементы, которые нам известны на Земле, но не все. Из 92 *) элементов периодической системы Менделеева в атмосфере Солнца открыто 67, или $^2/_3$.

В любой прежней книжке по астрономии говорилось, что Солнце, «золотое Солнце», не содержит золота Но из этой книги вы узнаете, что золото на Солнце есть, хотя и в ничтожной доле. Его нашли в 1942 г. по крайне слабой линии, происхождение которой раньше было неясно.

Химические элементы, отсутствующие в солнечном спектре, могут, конечно, отсутствовать в солнеч-

---

*) 104, считая искусственно полученные элементы, более тяжелые, чем уран.

ной атмосфере, но могут быть и другие причины отсутствия заметных линий в спектре. Например, последнее может быть обусловлено малым содержанием этого элемента, сопровождаемым чрезмерной слабостью линий, либо действительным отсутствием его линий в доступной наблюдениям части спектра, или недостаточной изученостью спектра данного элемента в лаборатории.

В спектре Солнца отсутствуют линии большинства тяжелых радиоактивных элементов, редких земель, инертных газов (кроме гелия и неона) и галоидов, но обнаружен радиоактивный технеций.

Кроме атомов многих элементов, в атмосфере Солнца, преимущественно в области пятен (обладающих более низкой температурой), обнаружены простейшие молекулы: углерода, циана, водородных соединений и многих других. Кроме того, в пятнах есть еще окись титана, гидриды магния, алюминия и кальция, окислы алюминия, циркония и другие соединения.

Изучение интенсивности линий спектра Солнца позволило, не ограничиваясь установлением наличия разных элементов в солнечной атмосфере, определить их количественное содержание. Так, установлено *), что солнечная атмосфера содержит:

| | По объему | По числу атомов |
|---|---|---|
| водорода | 81,760% | 90,7% |
| гелия | 18,170 | 9,1 |
| кислорода | 0,03 | 0,09 |
| магния | 0,02 | — |
| азота | 0,01 | 0,01 |
| кремния | 0,006 | — |
| углерода | 0,003 | 0,05 |
| железа | 0,0008 | 0,007 |
| кальция | 0,0003 | <0,01 |
| неона | — | 0,01 |

Из этих данных следует, что на водород по массе приходится более 70%, а на гелий 28%.

*Недра* Солнца согласно теоретическим расчетам должны быть беднее водородом.

*) Эти данные непрерывно уточняются.

## ИСТОРИЯ ДВУХ НЕЗНАКОМЦЕВ

В 1868 г. астрономы обратили внимание на то, что в спектре протуберанцев есть яркая желтая линия, которая никогда и нигде до этого не наблюдалась.

Очевидно, она принадлежит какому-то веществу, которого нет на Земле и которое есть только на Солнце. Предложили назвать это вещество «гелий», от греческого слова «гелиос», что значит Солнце. Астрономы предположили, что это должен быть очень легкий газ, потому что он поднимается высоко в атмосфере Солнца.

25 лет протекло на Земле, в течение которых считали, что на Солнце есть свое особое «солнечное вещество» — гелий.

В 1893 г. при новом точном определении веса азота английский физик Рэлей обнаружил расхождение между весом азота, добытого из аммиака и из воздуха. На литр газа расхождение в весе равнялось весу блохи. Но примириться с ним Рэлей не мог и стал доискиваться причины. Чтобы скорее справиться с задачей, пригласили для сотрудничества известного химика Рамзея, и он заподозрил, что азот, добытый из воздуха, не чистый. К нему, должно быть, подмешан какой-то газ, который тяжелее азота, оттого и вес «воздушного» азота тяжелее; так, грязная соль с примесью песка тяжелее чистой соли в том же объеме.

Ломая голову над этой задачей, Рамзей вспомнил описание Кавендишем одного из своих опытов, о котором он читал еще в студенческие годы. Кавендиш делал его еще в 1785 г., но на него не обратили внимания. Опыт состоял в том, что с помощью электрических разрядов Кавендиш соединял азот с кислородом, получая окислы азота. Как он ни бился, у него в сосуде с ртутью, занявшей место азота, бывшего там ранее и перешедшего в состав окислов, остался крохотный пузырек газа. Этот пузырек газа никак не хотел соединиться с кислородом. Кавендиш свой азот брал из воздуха, и потому Рамзей заподозрил, что Кавендиш столкнулся с тем же газом, который

причиняет столько забот его другу Рэлею. Взялись за расшифровку воздушного пузырька. Для этого в большом масштабе повторили опыт Кавендиша и получили упрямый газ, не желавший соединяться с кислородом, уже не в объеме пузырька, а в объеме, допускавшем точное определение его веса. Поступили еще и иначе, прогоняя «воздушный» азот сквозь раскаленный магний, пока они не соединились полностью. В остатке получился тот же самый, не желающий соединяться, или инертный, газ. Он оказался в полтора раза тяжелее азота.

Новый газ не желал соединяться ни с каким другим веществом. За его химическую лень назвали его «ленивым» или, по-гречески, «аргоном». Аргон оказался новым химическим элементом. Аргон был бы открыт на сто с лишним лет раньше, если бы Кавендиш, «державший его в руках», имел точные весы, чтобы взвесить свой пузырек газа.

После своего открытия Рэлей и Рамзей успокоились, но покою их не пришлось быть долгим. Один химик написал в феврале 1895 г., что известный путешественник Норденшельд уже давно привез из Норвегии новый минерал — клевеит. Из этого черного минерала можно было выделить газ, который не соединяется с кислородом. «Геолог, описавший этот минерал, считает его азотом, но, быть может, на самом деле это не азот, а аргон»,— писал химик.

Тогда Рамзей достал клевеит, выделил из него газ и посмотрел, какой у него спектр. Спектр вовсе не был спектром аргона. Это было что-то новое, с яркой желтой линией.

Долго думая, он вспомнил, что такую линию четверть века тому назад астрономы открыли в спектре протуберанцев, и с тех пор наблюдают ее ежедневно, приписывая ее неземному газу — гелию. Почти в то же время гелий был открыт в Швеции физиком Лангле. Так открыли солнечное вещество — гелий — на Земле.

Астрономы оказались правы. Гелий — легкий газ, самый легкий после водорода. В небольшом количестве гелий был открыт и в воздухе. Гелий обладает

множеством интереснейших свойств и, в частности, для его сжижения нужна очень низкая температура (269° ниже нуля). Любопытно, что при изучении гелия были открыты еще три новых инертных газа.

В 1914 г. английская артиллерия безуспешно обстреляла германский цеппелин, направлявшийся к Парижу. Он, хотя и пробитый осколками снарядов, не загорался, как все дирижабли, наполнявшиеся водородом. Английские химики догадались, что немцы наполнили свой цеппелин гелием, но возникала загадка, откуда они его добывают. В то время лишь немного гелия, добытого с большим трудом, находилось в руках ученых. Английское правительство бросило все силы на поиски природного гелия в своих владениях, и в 1918 г. его нашли в составе нефтяных газов в Канаде, откуда его и стали добывать для военных целей. Только к 1930 г. англичане накопили гелия достаточно для наполнения дирижабля «R-100». Германия, как выяснилось, добывала гелий из монацитового песка, который она в течение многих лет ввозила на пароходах вместо балласта из Индии и Бразилии.

На Солнце гелия чрезвычайно много, но, увы, он для нас там недосягаем. Через 40 лет после того как гелий был открыт на Земле, он представлял еще чрезвычайную редкость, а теперь этот солнечный газ сверкает на Земле желтовато-розовым цветом в витринах московских магазинов, где в длинных стеклянных трубках электрический разряд заставляет его привлекать покупателей. Солнечное вещество стало совершенно прирученным, земным.

Иной была история разоблачения таинственного незнакомца, выступившего перед нами в виде ряда цветных линий спектра солнечной короны. Незнакомца, обнаруженного в спектре солнечной короны в 1869 г., через год после открытия гелия назвали «коронием». Короний был упорнее гелия: он не хотел показываться на Земле. Не показывается он и сейчас. Мало того, гелий по крайней мере был обнаружен в спектрах других небесных тел — звезд и туманностей, короний же обитал только в солнечной короне.

Лишь в 1933 г. короний показался на несколько месяцев в спектре так называемой новоподобной звезды RS Змеедержца *). В этом году слабенькая звездочка, вспыхнувшая уже однажды ненадолго в 1893 г., вспыхнула снова, и в газах, выброшенных ею в момент наибольшего блеска, ненадолго промелькнул короний. Этот случай заинтриговал астрономов, но не пролил света на тайну корония, хотя некоторые соображения еще тогда приводили автора к мысли, что короний как-то связан с железом.

Дело в том, что каждому химическому элементу в таблице Менделеева предоставлена своя клетка — своя квартира. Как только открывался новый элемент, для него тотчас находилась приличествующая ему и незанятая квартира в том или другом этаже таблицы. Уже четверть века назад практически все квартиры во всех этажах дома, построенного для элементов Менделеевым, были заняты. Новым элементам в таблице не оказалось места. Это значит, что им нет места и в природе. Значит, всякий новый незнакомец, и в том числе короний, вовсе не незнакомец, а кто-то из старых знакомых, только в маскарадном костюме и в маске. И имя его — «короний»,— не настоящее, а псевдоним, под которым он скрывается. Маскарад его — подневольный, маскарадный костюм в виде незнакомых линий спектра на него надели необычные физические условия, в которые он попал, находясь в солнечной короне, и которых на Земле нет. Сорвите маскарадную маску, и вы увидите под ней знакомый кислород, азот или другой какой-нибудь элемент, смеющийся над нашими тщетными усилиями разоблачить его вот уже более 70 лет.

Убеждение в возможности именно такой расшифровки корония поддерживалось успехом аналогичного случая со спектром разреженных масс газа, образующих туманности, расположенные в межзвездном пространстве. Обнаруженный в них элемент,

---

*) Это созвездие называют также Змееносцем, что вряд ли правильно. Многие люди, особенно на Востоке, могут *держать* змею, но едва ли есть смысл *носить* ее в руках.

названный «небулием» (от латинского слова «небула» — туманность) и скрывавшийся под зелеными линиями спектра, был «допрошен с пристрастием» физиком Боуэном в США. После долгого «запирательства» в 1927 г. он «сознался», что он... попросту кислород. Впрочем — не попросту, а кислород, дважды ионизованный, т. е. потерявший два электрона. Но и в этом виде мы бы его разоблачили раньше, если бы он не умудрялся испускать те линии спектра, которые ему «запрещено» испускать.

По сути дела, никто ему, собственно говоря, эти линии не запрещал испускать, но излучение их в земных условиях для него так трудно, что практически обнаружить их в спектре кислорода на Земле невозможно, и потому физики условно назвали эти линии «запрещенными». Линии возникают, когда электрон перескакивает сам по себе, ничем «не принужденный», с одной орбиты на другую. Но вот на той орбите, с которой он должен перескочить, покрутившись на ней некоторое положенное ему время, электрон крутится очень долго — секунды, часы, дни и даже месяцы, прежде чем электрон сам по себе ее покинет и излучит соответствующую «запрещенную» линию.

В земных условиях плотности газа так велики и столкновения атомов поэтому так часты, что с подобной орбиты электрон при ударе сталкивают насильно на другую орбиту раньше, чем он успеет с нее уйти «по своей воле». На обычных же орбитах электрон остается всего лишь около $10^{-8}$ *сек*. Это и не дает возможности атому излучить запрещенную линию.

В газовых туманностях плотность газа так ничтожно мала, что столкновения атомов происходят крайне редко, и излучение ими линий, «запрещенных» в земных условиях, тут происходит беспрепятственно.

По примеру с небулием, линии корония стали искать среди запрещенных линий известных элементов. Их длину волны можно установить только теоретически, зная структуру атомов, но она пока еще не для всех них известна. В газах, выброшенных в пространство звездой RS Змееносца, были необычайно сильны запрещенные линии атомов железа, ионизо-

ванных не слишком сильно. Можно было поэтому поставить линии корония в спектре этой звезды в связь с необычными для звезд условиями свечения паров железа. Многие попытки, сделанные в этом направлении, были безрезультатны, но в 1941 г. шведский ученый Эдлен сообщил давно желанную весть — «короний оказался железом»...

Одни линии корония оказались запрещенными линиями девятикратно ионизованного железа, другие — такими же линиями тринадцатикратно (!) ионизованного железа, а менее яркие линии — принадлежащими многократно ионизованному никелю и другим элементам.

Плотность газа в короне, несомненно, очень мала и могла бы допустить излучение запрещенных линий. А железо в солнечной короне могло бы получаться за счет испарения железной метеоритной пыли, когда она достаточно приближается к Солнцу и нагревается.

В первый момент к отождествлению корония астрономы отнеслись недоверчиво. Как может быть, чтобы вблизи Солнца, которое само имеет температуру «всего лишь» в 6000°, могли существовать столь сильно ионизованные атомы железа. Для такой ионизации в обычных условиях нужна температура выше 100 000°, и потому никто раньше не искал короний среди ионов, существование которых требует таких высоких температур. В последнее время стало, однако, намечаться объяснение существованию вблизи Солнца паров железа, атомы которого лишились 9 и даже 13 электронов. Это может произойти не только от высокой температуры, но и от влияния некоторых других процессов, возникающих в разных местах хромосферы. Описание их здесь было бы слишком сложно, но укажем, что московский астроном И. С. Шкловский представляет обстоятельства дела следующим образом. В условиях короны достаточно наличия слабого электрического поля в ней, чтобы возникло движение электронов наружу со скоростью, соответствующей температуре в 1 000 000°.

Эти электроны, возникающие в самой короне, с бешеными скоростями налетая на находящиеся

в ней же атомы железа и никеля, ионизуют их так сильно, как при других условиях это осуществлялось бы при температуре в миллион градусов.

Как показали В. А. Крат и С. Б. Пикельнер, поверхность Солнца, выбрасывая свои электроны в мировое пространство, получает положительный заряд благодаря накапливанию положительно заряженных ионов. Но это ведет тогда к взаимному отталкиванию ионов и к выбросу их из Солнца, заряд которого, уменьшаясь, позволяет электронам выбрасываться снова. Так Солнце постепенно теряет свою массу.

Разгадку корония можно считать решенной, и можно считать решенной загадку спектра солнечной короны, в целом. К настоящему времени в спектрах небесных светил не осталось ни одного «небесного вещества», все их линии принадлежат веществам, имеющимся и на Земле. Мы потеряли в науке два химических «элемента» — небулий и короний, но взамен них приобрели знания о строении и поведении как мельчайших атомов, так и грандиозных мировых тел...

## АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ, ХРОМОСФЕРНЫЕ ВСПЫШКИ, РЕНТГЕНОВСКОЕ И РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА

На Солнце в так называемых активных областях наблюдается усиление движения газов и изменение характера этих движений. В этих областях возникают не только пятна, но и факелы, флоккулы, усиление магнитных полей, некоторые протуберанцы.

Активные области излучают больше корпускул, ультрафиолетовых, рентгеновских и даже космических лучей высокой энергии. Все эти виды излучений лишь недавно стало возможно изучать приборами, установленными на высотных ракетах, искусственных спутниках Земли и межпланетных автоматических станциях.

Ультрафиолетовый конец солнечного спектра впервые сфотографировали с высотных ракет, так как земная атмосфера это коротковолновое излучение поглощает целиком и не пропускает к Земле.

Между тем ультрафиолетовый спектр Солнца содержит ценнейшую дополнительную информацию о физическом состоянии и химическом составе внешних слоев Солнца. Ультрафиолетовые лучи — главный

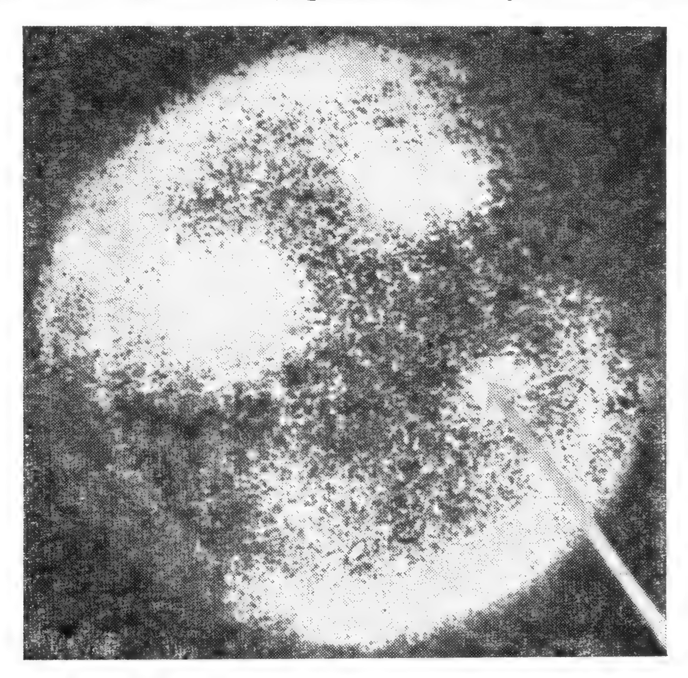


Рис. 131. Фотография Солнца в рентгеновских лучах.

ионизатор земной атмосферы, основной создатель ее ионосферы.

Для измерения рентгеновского излучения Солнца вместо спектрографа приходится пользоваться особыми счетчиками, покрытыми тонкой пленкой, поглощающей рентгеновские кванты разной энергии, в зависимости от состава и толщины пленки. На рис. 131 приведена фотография Солнца в рентгеновских лучах. В этих лучах особенно ярки активные области. В них рентгеновская яркость раз в 100

больше, чем в спокойных областях Солнца. Рентгеновское излучение возникает во внутренней короне

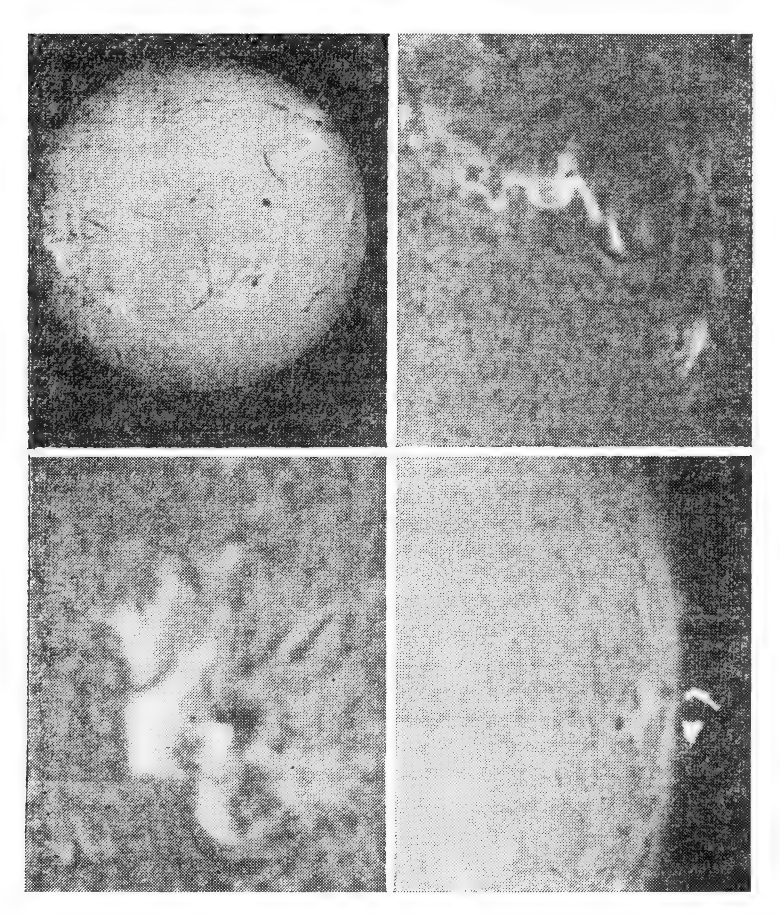


Рис. 132. Фотографии четырех солнечных вспышек в свете бальмеровской линии водорода $H_\alpha$.

Солнца, на десятки тысяч километров выше уровня появления водородных флоккул.

По спектрогелиограммам было обнаружено, что изредка на Солнце бывают кратковременные яркие

вспышки особенно плотных и горячих газов; температура плазмы во вспышках достигает нескольких десятков тысяч градусов. Именно они-то, а не самые пятна, с которыми вспышки обычно связаны, являются причиной быстрых электромагнитных возмущений на Земле, которые раньше приписывались непосредственно влиянию пятен. (Впрочем, дело обстоит, по-видимому, еще сложнее.) Электромагнитные возмущения на Земле проявляются в колебаниях магнитной стрелки компаса, в помехах в работе проволочного и радиотелеграфа и т. д. Об этом мы поговорим еще и дальше.

Для радиосвязи возможность предвидеть наступление таких помех была бы особенно ценна. Опыты предсказания наступления таких помех и даже опыты прогноза погоды, основанные на анализе наблюдаемой связи помех с областями активных изменений и активного излучения на Солнце, все время делаются. Дело в том, что, вообще говоря, для того чтобы повлиять на Землю, активная область должна быть вблизи центра видимого диска Солнца. Всегда можно заранее рассчитать, зная период вращения Солнца, когда активная область, видимая вдали от центра, окажется вблизи него (вернее, на его центральном меридиане).

Улучшение предсказаний хромосферных вспышек очень важно для обеспечения безопасности космонавтов. При хромосферных вспышках возникают лучи, сходные по составу с космическими лучами: 90% протонов и 10% альфа-частиц (ядер гелия). Интенсивность космического излучения возрастает при этом в тысячи раз и более в течение нескольких часов. Особенно мощные вспышки происходят в среднем один раз за 4—5 лет в эпоху спада или подъема солнечной деятельности.

С 1957 г. на Солнце пытались обнаружить изотоп водорода с атомным весом 2. Можно было ожидать его образования при ядерных реакциях, сопровождающих солнечные вспышки. В августе 1972 г. при сильной вспышке было обнаружено гамма-излучение, которое могло произойти при образовании дейтерия. На

следующий год дейтерий был обнаружен непосредственно в солнечном ветре при нескольких вспышках благодаря приборам, установленным на двух искусственных спутниках Земли. Тут же зарегистрировали и другой изотоп водорода — тритий. Он нестабилен и половина его распадается за 12,6 лет. Оба изотопа возникают от столкновений быстрых протонов и ядер гелия с ядрами более тяжелых элементов. В продуктах вспышек содержание дейтерия возрастает в сотни раз, достигая 0,1% атомов водорода. Проходившая, по-видимому, очень активная область Солнца дала ряд очень сильных хромосферных вспышек, сопровождавшихся рядом геофизических последствий — бурь в космических лучах, больших магнитных бурь и возмущений ионосферы. Подобные вспышки крайне опасны для космонавтов в открытом Космосе и даже внутри корабля. К сожалению, предвидеть их мы еще не умеем.

Многие исследователи в годы второй мировой войны обнаружили радиоизлучение, идущее от Солнца. Из радиоволн, испускаемых Солнцем, мы можем принимать волны длиной (примерно) от 10 *м* до нескольких сантиметров.

Если предположить, что Солнце в области радиоволн излучает как абсолютно черное тело, то по интенсивности его радиолучей с длиной волны 1 *м* его температура составляет сотни тысяч градусов. Метровые волны излучаются солнечной короной, а сантиметровые — хромосферой. Вычисленная выше «температура» характеризует лишь скорость движения электронов в этих оболочках Солнца и соответствует тому, что говорилось ранее в этой книге о причине ионизации газов в короне.

Временами радиоизлучение Солнца усиливается в сотни тысяч раз. Это явление называют *«всплесками»*; они сопровождают большие солнечные пятна, вернее, происходящие вблизи последних кратковременные извержения из недр крайне горячих газов — хромосферные вспышки.

По теории И. С. Шкловского эти «всплески» вызваны тем, что потоки электрически заряженных час-

тиц, выбрасываемых Солнцем и производящих на Земле полярные сияния, на своем пути вызывают в солнечной атмосфере особые «собственные колебания» находящихся в ней электронов. Эти колебания порождают кратковременное усиленное радиоизлучение.

Однако радиоизлучение активного Солнца очень сложно и разнообразно и теоретическое его объяснение находится в процессе дальнейшей разработки.

## МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ

За последние годы теория строения Солнца и явлений на нем сильно продвинулась вперед. В частности, на основе лабораторных опытов с плазмой пришли к выводу о том, что магнитные поля на Солнце играют очень большую роль в наблюдаемых на нем явлениях.

Ядерные реакции происходят в ядре Солнца, где температура достаточно высока — 16 млн. градусов. Радиус этой зоны, где вырабатывается энергия при ядерных реакциях, составляет, по-видимому, около 200 000 *км*. С удалением от центра Солнца температура падает быстро — на 20° на каждый километр. В этой области происходит перенос лучистой энергии излучением. Не доходя одной десятой по радиусу до фотосферы, температура падает медленнее, и в переносе энергии в ней принимает участие конвекция в виде вертикального подъема горячих газов и опускания холодных газов. Происходит перемешивание вещества, которое, однако, неравномерно по разным направлениям.

В фотосфере водородные атомы в основной своей массе нейтральны, в хромосфере, являющейся переходным слоем, они ионизуются и в короне наступает полная ионизация. Толщина фотосферы только 200—300 *км*, т. е. около $^{1}/_{300}$ радиуса Солнца. Таким образом атмосфера Солнца состоит из плазмы — смеси ионов и свободных электронов. Хромосфера, в сотни тысяч раз менее плотная, чем фотосфера, переходит в корону. За счет облучения энергией, испускаемой

фотосферой, при ее температуре в 6000° термометр в хромосфере показал бы 5000°, а в короне еще меньше. Частицы разреженного газа хромосферы и короны налетали бы на термометр так редко, что не могли бы его нагреть. Однако скорости движения частиц в хромосфере и короне очень велики. Известно, что температуру газа можно измерять кинетической энергией его частиц. Это так называемая кинетическая температура. В фотосфере температуры излучения и кинетическая соответствуют друг другу, а в хромосфере и короне различаются резко — в хромосфере кинетическая температура составляет десятки тысяч градусов, а в короне — около миллиона градусов.

«Нагревание» хромосферы происходит за счет энергии распространяющихся в ней волн, порождаемых движением гранул в фотосфере. В короне, простирающейся на расстояние до 10 радиусов Солнца, число атомов в 1 *см*$^3$ в 100 миллиардов раз меньше, чем число молекул в 1 *см*$^3$ воздуха у поверхности Земли. При такой же плотности, как воздух, вещества в короне хватило бы на слой, окружающий Солнце при толщине всего в несколько миллиметров. В ней возникает основное радиоизлучение Солнца. С такой же интенсивностью, как корона, нагретое тело такого же размера излучало бы при температуре в миллион градусов, а такой кинетической температуры требуют, как мы видели, и наблюдаемые в спектре короны яркие линии многократно ионизованных металлов.

Изучение взаимодействия магнитного поля и плазмы показало, что на плазму в целом движение вдоль силовых линий магнитного поля не влияет. При движении же электрически заряженных частиц поперек линий поля (т. е. при течении тока) возникает дополнительное магнитное поле. Сложение этих магнитных полей вызывает искривление и вытягивание силовых линий вслед за движением вещества. Между тем у магнитных силовых линий есть натяжение, стремящееся их выпрямить. Это создает магнитное давление, и поле, мешая плазме пересекать силовые линии, его тормозит и даже может увлечь за собой,

если поле сильно. Если оно слабо, то плазма перемещает силовые линии вместе с собой. Итак, во всех случаях можно говорить о том, что силовые линии как бы «вморожены» в плазму.

Эти сведения, а также регулярные измерения напряжения магнитного поля в разных местах на Солнце позволили подойти к объяснению многих явлений на нем.

Общее магнитное поле Солнца очень слабо, но оно, видимо, играет большую роль. Лучи короны, особенно в полярных областях Солнца, располагаются подобно силовым линиям, выходящим и входящим у полюсов намагниченного шара. Изменение направления поля в каждом полушарии Солнца от одного цикла солнечной активности к следующему также очень важно. Причина этого изменения еще не ясна, но известны звезды с очень мощными магнитными полями, у которых полярность поля также периодически меняется.

При вращении Солнца самые быстрые (экваториальные) слои увлекают за собой силовые линии слабого общего поля Солнца, которые в них «вморожены». Эти линии вытягиваются под фотосферой и за три года обвиваются вокруг Солнца шесть раз, образуя тугую спираль. Если силовые линии расположились при этом теснее, то, значит, тут общее (и искаженное здесь) магнитное поле Солнца усилилось.

Ближе к полюсам силовые линии общего поля выходят из фотосферы вверх, и поэтому поле здесь не усиливается. Впрочем, на самом экваторе, где угловая скорость вращения в некоторой зоне меняется мало, поле также не усиливается, а на широтах $+30^{\circ}$, где скорость вращения меняется быстрее всего, усиление поля максимально. Так под фотосферой образуются подобия трубок из сгущенных силовых линий. Давление газа в них складывается с давлением магнитного поля, перпендикулярным к его линиям. Газ в «трубке» расширяется и становится как бы легче и может «всплыть» наверх. В этом месте, где она приближается к поверхности, на Солнце наблюдается

усиление магнитного поля, а затем и появление факела, а за ним и поля факелов. Их горячие газы поднимаются выше, чем соседние места фотосферы, потому что слабое магнитное поле вокруг них гасит

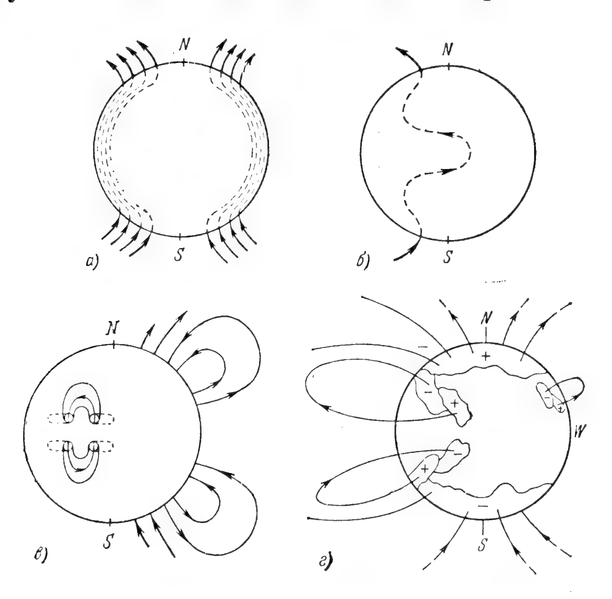



Рис. 133. Схема возникновения активных областей на Солнце. *а* — период незадолго до минимума, слабое общее магнитное поле диагонального характера; *б* — начало вытягивания и закручивания отдельной силовой линии; *в* — развитие биполярных групп пятен из трубки силовых линий; на правом краю — остатки тех же активных областей; *г* — расположение силовых линий на разных гелиографических широтах.

мелкие турбулентные движения, стремящиеся тормозить поток горячего выходящего газа. Над факелами в хромосфере также происходит нагрев и возникают горячие флоккулы. Наконец, над флоккулами в короне начинается более яркое свечение. Так развивается активная область на Солнце. Всплывая к поверхности и пересекая ее, трубка со сгущенными силовыми линиями образует местные усиления маг-

нитного поля и возникают солнечные пятна. Их пониженная температура обусловлена тем, что очень сильное магнитное поле в этой области подавляет не только турбулентность, но и сильные конвективные движения. Поэтому здесь приток снизу горячих газов прекращается, тогда как вокруг пятна, в области факелов и флоккул, конвекция слабым магнитным полем усилена, так как оно подавляет слабую турбуленцию и там приток горячих газов снизу облегчен. Понятно, что пересечение изогнутой трубки с этой поверхностью в двух местах обусловливает у двух главных пятен противоположные магнитные полярности. Выход трубки из фотосферы и рассеивание ее линий ведут к дроблению и исчезновению двух главных пятен, образованных пересечением силовой трубки с поверхностью Солнца. Выход силовых линий трубки в разреженные хромосферу и корону, где давление газа меньше, чем давление магнитного поля, ведет к тому, что линии расходятся, образуя петли и дуги.

Постепенно области активности с порождающими их магнитными трубками в восточной части образуют пятна с полярностями, противоположными той, какая была в начале цикла у этого полюса Солнца. Это вызывает сначала нейтрализацию прежнего общего магнитного поля, а затем, за три года до конца 11-летнего цикла солнечной активности, создает общее поле противоположной полярности.

Через 11 лет восстанавливается прежняя картина полярностей общего поля.

Так получает в основных чертах, по-видимому, правильное объяснение (данное Бэбкоком), 22-летняя периодичность солнечной активности.

Хромосферные вспышки на Солнце образуются вблизи нейтральных точек магнитных полей в активных областях, где с удалением от этих точек напряжение поля быстро возрастает. Здесь происходит крайне быстрое сжатие магнитного поля вместе с плазмой, в которую оно «вморожено», и энергия магнитного поля переходит при этом в излучение газа. Плазма сжимается в тонкий шнур и температура ее

резко возрастает — до нескольких десятков тысяч градусов. Плотность хромосферы возрастает здесь за несколько минут в сотни тысяч раз.

Кроме огромного повышения температуры, а с нею и излучения, особенно ультрафиолетового и рентгеновского, хромосферная вспышка состоит и в так называемом всплеске радиоизлучения. На метровых волнах последнее усиливается до десятков миллионов раз.

Источник этого радиоизлучения перемещается из хромосферы в корону со скоростью около 1000 *км/сек*. Вероятно, он возникает в результате выброса космических лучей, порожденных вспышкой, и бомбардировки плазмы этими лучами, что и вызывает колебания плазмы, порождающие всплеск радиоизлучения.

Наблюдаемые в короне лучи, видимо, порождаются этими потоками быстрых, электрически заряженных частиц, тянущих за собой силовые линии магнитного поля. И это поле, и плазма короны тормозят потоки частиц, но часть их вырывается из атмосферы Солнца и, попадая в земную атмосферу, производит полярные сияния. Изменение картины магнитного поля Солнца от минимума его активности к максимуму и определяет изменения формы короны, о чем мы уже говорили.

Многие протуберанцы, как и лучи короны, обусловлены движением газа вдоль силовых линий, отчего и происходят, например, выбросы их по дугообразной траектории и «скатывание» их обратно на поверхность Солнца. По-видимому, протуберанцы находятся преимущественно в областях плавных изменений магнитного поля. Возникновение свечения протуберанцев внезапно вверху, а затем их движение только вниз обусловлено, по-видимому, процессами, аналогичными тем, какие дают хромосферные вспышки, но менее резкими. Сжатие магнитного поля ведет к сжатию относительно холодного газа, к подъему его плотности и к свечению.

Таковы основные черты современной, в основном газомагнитной, теории солнечных явлений.

## СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР И ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

Уже давно норвежские геофизики Биркеланд и Штермер пришли к выводу, что Солнце испускает потоки корпускул — электрически заряженных частиц. По их мысли, эти частицы, попадая в земную атмосферу, могли вызывать возмущения магнитного поля Земли и полярные сияния. В периоды повышения солнечной активности учащаются и усиливаются полярные сияния и магнитные бури на Земле. Последние выражаются в колебаниях напряженности поля, в колебаниях магнитной стрелки компаса. В пятидесятых годах немецкий астрофизик Бирман показал, что ряд явлений в кометных формах, в частности, большие ускорения в движении газов в кометных хвостах I типа должны быть результатом взаимодействия плазмы кометного хвоста с солнечными корпускулярными потоками, несущими с собой магнитное поле. Эта теория развивается; она объясняет многие явления, остававшиеся непонятными, когда полагали, что на кометы действует главным образом давление солнечного света. Так как кометы движутся по солнечной системе постоянно и в разных направлениях, то надо заключить, что корпускулярное излучение Солнца испускается непрерывно и по всем направлениям, заполняя солнечную систему.

Г. М. Никольский, С. К. Всехсвятский и В. И. Чередниченко отождествили корпускулярные потоки с лучами солнечной короны, рассматривая ее как динамическое образование. Из этого следовал вывод, что солнечная корона непрерывно расширяется.

Чепмен пришел к заключению, что солнечная корона с температурой миллион градусов вследствие большого потока тепла, создаваемого ею, должна простираться до орбиты Земли, где ее температура падает до 200 000°. Здесь он оценил плотность короны в 100—1000 атомов водорода в 1 $см^3$, что вытекало и из интерпретации поляризации зодиакального света. Чепмен даже заявил так: «Мы живем в солнечной короне!». Расширяясь, солнечная корона уже на расстоянии $10^7$ *км* от Солнца должна иметь скорость

в несколько сотен километров в секунду. Паркер отождествил расширяющуюся солнечную корону с корпускулярным излучением Солнца и назвал последнее «солнечным ветром».

Появились и экспериментальные данные: начиная с 1959 г. автоматические межпланетные станции стали регистрировать солнечные корпускулярные потоки на разных расстояниях от Земли в межпланетном пространстве. Они установили, что солнечный ветер «дует» постоянно со скоростью около 400 *км/сек* на расстоянии Земли от Солнца и что число частиц в 1 $см^3$ несколько колеблется. Через 1 $см^2$ за секунду проходит $10^8$—$10^9$ частиц и больше после сильных вспышек на Солнце. Они несут с собой магнитное поле и движутся не по радиусам, а по спиралям. Но солнечный ветер не отличается постоянством. В его потоках наблюдаются и турбулентность газа и деформация магнитного поля. В настоящее время солнечный ветер усиленно изучается всеми доступными средствами, так как он ответствен и за процессы в кометах и за многие геофизические явления в земной магнитосфере и атмосфере *).

Полярные сияния чаще всего, почти ежедневно, наблюдаются в кольцевых зонах радиусом 23° с центром около магнитных полюсов Земли. Самые мощные и высокие полярные сияния наблюдаются не только в высоких и средних широтах, но даже в тропиках, сопровождая собой наступление магнитных бурь, отмечаемых одновременно по всей Земле. Виды и типы полярных сияний, этого электрического свечения в стратосфере, весьма разнообразны. Хотя все они вызваны проникновением в стратосферу частиц высоких энергий, связанных с активностью Солнца, причины существования разных форм сияний неодинаковы. Высота полярных сияний определяется по параллаксу их деталей. Для этого одновременно фотографируют сияние из двух точек и определяют его положение на фоне неба по отношению к звездам.

---

*) О солнечном ветре см. в книге «Астрономия невидимого», «Наука», 1967.

Чаще всего сияния происходят на высотах 95—120 *км*, но иногда и немного ниже; изредка же сияния можно увидеть на высотах до 1000 *км*. Знание этой высоты и плотности воздуха на разных высотах позволяет определить скорость и энергию корпускул, вторгающихся в стратосферу. До высоты 100 *км* могут проникать протоны с энергией 100 килоэлектронвольт (*кэв*) и электроны с энергией даже в 10 раз меньшей.

В спектрах полярных сияний наблюдаются яркие линии атомарных и полосы молекулярных кислорода и азота, как нейтральных, так и ионизованных. Среди них есть и запрещенные линии, о которых мы говорили в очерке «История двух незнакомцев». Они обусловлены разреженностью стратосферы, которая на высоте 100 *км* в миллион раз менее плотна, чем воздух на уровне моря.

С различием химического состава воздуха на разных высотах и различием энергии вторгающихся корпускул связано появление преимущественно тех или других спектральных линий. Поэтому-то в полярных сияниях и наблюдается чарующая игра разных красок и их отблесков на белоснежных полях арктических и антарктических просторов. Наблюдается в спектре полярных сияний и красная линия атомарного водорода, производимая вторжением солнечных протонов.

Очень много для понимания природы полярных сияний дали обширные систематические исследования их, проведенные во время Международного геофизического года (МГГ), а также исследования при помощи искусственных спутников Земли и геофизических ракет.

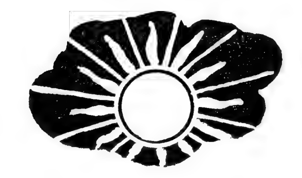
Магнитное поле Земли в общем похоже на поле намагниченного железного шара с силовыми линиями, выходящими из одного магнитного полюса и входящими в другой. В связи с этим дуги полярных сияний вытягиваются вдоль геомагнитных параллелей, а их лучи — вдоль геомагнитных силовых линий.

Сияния в области геомагнитных полюсов, аморфного вида, производятся очень энергичными электро-

нами, приходящими непосредственно от Солнца, но отклоняемыми в своем движении магнитным полем Земли. Сияния в области наибольшей их повторяемости — в области полярных кругов — возбуждаются электронами с энергией 10 *кэв* и меньше, которые не могут прийти прямо от Солнца, а приобрели большую скорость, странствуя в магнитном поле Земли, хотя они и не принадлежат к радиационным поясам Земли. Здесь же происходят и сияния, вызванные протонами с энергией в $1^1/_2$ —2 *кэв*, т. е. с такой же, какой обладают протоны солнечного ветра. Протоны эти попадают в зону обтекания геомагнитного поля, а оттуда врываются в стратосферу. Сияния в виде красных дуг на высотах около 350 *км* создаются ближе к земному экватору протонами небольших энергий из состава солнечного ветра. Детали проникновения корпускул солнечного ветра в стратосферу и их «приключения» в пути еще подлежат выяснению.

Солнечный ветер, вызывая магнитные бури и полярные сияния, возмущая земную ионосферу, влияет на радиосвязь на коротких волнах, а быть может, как считал А. Л. Чижевский, оказывает заметное влияние и на живые организмы. Поэтому изучение солнечного ветра и связанных с ним явлений не безразлично для человеческой практики, особенно в связи с запусками человека в Космос.

Поскольку солнечный ветер связан с активными областями на Солнце, существующими длительное время, а скорость вращения Солнца и скорость корпускулярных потоков известны, наступление магнитных бурь и сильных полярных сияний в некоторой степени удается предсказывать заранее.



## ГЛАВА 7



# ЗВЕЗДЫ — ДАЛЕКИЕ СОЛНЦА

### ОБЪЯТЬ НЕОБЪЯТНОЕ

Открылась бездна, звезд полна,
Звездам числа нет, бездне — дна.

Так писал великий ученый и поэт, чуткий ценитель красоты природы Михайло Ломоносов. Не в ущерб ему, приведем еще одно высказывание о звездах, принадлежащее, однако, менее авторитетному лицу. «Коллективный автор» Козьма Прутков изложил один анекдот о Декарте так:

«Однажды, когда ночь покрыла небеса невидимою своею епанчею, знаменитый философ Декарт, сидя на ступеньках домашней своей лестницы, некий прохожий подступил к оному, с превеликим вниманием на мрачный горизонт смотревшему, с вопросом: «Скажи, мудрец, сколько звезд на небе сем?» — «Мерзавец! — ответствовал сей: — никто необъятного объять не может...»

Смысл всех этих слов тот, что звездам, видимым на небе, «несть числа», а между тем, если говорить о звездах, видимых невооруженным глазом, то они все сочтены давным-давно. Эта задача не необъятна. Мы вполне можем «объять» множественность звезд, она лишь кажется необъятной.

Присмотритесь к звездному небу, разыщите на нем с помощью звездной карты созвездия, и вы скоро

убедитесь, как легко ориентироваться на небе, держать на учете все звезды, видимые невооруженным глазом. Их всего около 6000, а сразу над горизонтом их видно только около 3000. Если мы говорим «около», то лишь потому, что острота зрения и прозрачность воздуха бывают различны. В списки занесены и помечены на картах не только все эти звезды, но и множество более слабых.

С уменьшением блеска звезд число их растет, и даже простой их счет становится все более затруднительным.

Так сказать, «поштучно» сосчитаны и занесены в каталоги, а также на карты все звезды ярче 11-й звездной величины. Число звезд, более слабых, мы тоже знаем, но уже не так точно, но это и не так важно. Мы поступаем с ними, как лесничие с деревьями в лесах, не подсчитывающие каждое дерево при учете запасов леса. На небольших типовых площадках определенного размера они подсчитывают число деревьев и умножают их затем на число таких площадок, содержащихся в площади, занятой лесом. Мы поступаем со звездами подобно этому.

В результате подсчет числа звезд, ярче данной предельной звездной величины, можно представить следующей табличкой:

| Предельная звездная величина | Число звезд | Предельная звездная величина | Число звезд |
|---|---|---|---|
| 6,0 | 4 850 | 13,0 | 5 700 000 |
| 7,0 | 14 300 | 15,0 | 32 000 000 |
| 8,0 | 41 000 | 17,0 | 150 000 000 |
| 9,0 | 117 000 | 19,0 | 560 000 000 |
| 10,0 | 324 000 | 21,0 | 2 000 000 000 |
| 11,0 | 870 000 | | |

Итак, мы держим на строгом учете около миллиона звезд, а всего доступно нашему наблюдению около двух миллиардов звезд. Числа — внушительные, но «объять» их можно.

## СВЕТИМОСТИ ЗВЕЗД

Где-то в море в ночной тьме тихо мерцает огонек, и если бывалый моряк не объяснит вам, что это, вы часто и не узнаете: то ли перед вами фонарик на носу проходящей шлюпки, то ли мощный прожектор далекого маяка. В том же положении в темную ночь находимся и мы, глядя на мерцающие звезды. Их видимый блеск зависит и от их истинной силы света, называемой *светимостью*, и от их расстояния до нас. Только знание расстояния до звезды позволяет подсчитать ее светимость по сравнению с Солнцем. Так, например, светимость звезды, в действительности в десять раз менее яркой, чем Солнце, выразится числом 0,1.

Истинную силу света звезды можно выразить еще и иначе, вычислив, какой звездной величины она бы нам казалась, если бы она находилась от нас на стандартном расстоянии в 32,6 светового года, т. е. на таком, что свет, несущийся со скоростью 300 000 *км* в секунду, прошел бы его за это время. Десятая часть этого расстояния (т. е. расстояние в 3,26 светового года) принимается специалистами-астрономами за единицу для выражения межзвездных расстояний и называется *парсеком*. Ее назвали так потому, что с этого расстояния угол, под которым виден радиус земной орбиты, перпендикулярный к лучу зрения (этот угол называется *параллаксом*), составляет в точности одну *секунду* дуги. Парсек в 206 265 раз больше расстояния от Земли до Солнца, т. е. астрономической единицы, так что

$$1 \text{ *парсек*} = 3{,}26 \text{ светового года} = 206\,265 \text{ астрономических единиц} = 3{,}083 \times 10^{13} \text{ км}.$$

На стандартном расстоянии в 10 *парсек*, или 32,6 светового года, Солнце показалось бы нам звездой 5-й звездной величины, т. е. не особенно хорошо видимой невооруженным глазом даже в безлунную ночь. Звездная величина светила на этом стандартном расстоянии называется *абсолютной звездной величиной*.

Блеск звезд, как и всякого источника света, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Этот закон позволяет вычислять абсолютные звездные величины или светимости звезд, зная расстояния до них.

Пусть для примера звезда 5-й видимой величины находится от нас на расстоянии в 40 *парсек*. Тогда на стандартном расстоянии в 10 *парсек* она была бы к нам вчетверо ближе и ее видимый блеск возрос бы в $4^2$, т. е. в 16 раз. Но 16 — это почти точно $(2^1/_2)^3$, т. е. звездная величина звезды стала бы на три звездные величины меньше. Вместо 5-й она стала бы 2-й звездной величины, была бы на три звездные величины ярче Солнца ($M_\odot=+5$). Следовательно, ее светимость равна $2^1/_2\times2^1/_2\times2^1/_2=(2^1/_2)^3=16$. Таким образом, эта звезда 5-й звездной величины в действительности в 16 раз ярче Солнца. Абсолютную величину звезды $M$ можно легко вычислить по ее видимой звездной величине $m$ и расстоянию $D$ в световых годах при помощи формулы

$$M=m+7\frac{1}{2}-5\lg D.$$

Когда расстояния до многих звезд стали известны, то мы смогли вычислить их светимости, т. е. смогли как бы выстроить их в одну шеренгу и сравнивать друг с другом в одинаковых условиях. Надо сознаться, что результаты оказались поразительными, поскольку раньше считали все звезды «похожими на наше Солнце». Светимости звезд оказались удивительно разнообразными. Приведем только крайние примеры светимости в мире звезд.

Одной из самых слабых является звезда № 359 по каталогу Вольфа. Она в 50 000 раз слабее Солнца, и ее абсолютная величина $+16{,}6$.

На другом краю шеренги звезд стоит S Золотой Рыбы, видимая только в странах южного полушария Земли как звездочка 8-й величины. Она в миллион раз ярче Солнца, и ее абсолютная величина — 10,6. Если яркость обычной свечи принять за яркость Солнца, то в сравнении с ней S Золотой Рыбы будет

мощным прожектором, а звезда 359 Вольфа слабее самого жалкого светляка!

Итак, звезды — это далекие солнца, но их сила света может быть совершенно иной, чем у нашего центрального светила. Менять наше Солнце на другое нужно было бы с оглядкой. От света одного мы ослепли бы, при свете другого бродили бы, как в густых сумерках.

## СПЕКТРЫ — ПАСПОРТА ЗВЕЗД

Спектры звезд — это их паспорта с описанием всех звездных примет, всех их физических свойств. Надо лишь уметь в этих паспортах разбираться. Многое еще мы сумеем из них извлечь в будущем, но уже и сейчас мы читаем в них немало.

По спектру звезды мы можем узнать ее светимость (а следовательно, и расстояние до нее), ее температуру, ее размер, химический состав ее атмосферы как качественный, так и количественный, скорость ее движения в пространстве, скорость ее вращения вокруг оси и даже то, нет ли вблизи нее другой, невидимой звезды, вместе с которой она обращается вокруг их общего центра тяжести.

Если спектры — паспорта звезд, то естественно, что мы стремимся к паспортизации звезд, к получению спектра каждой из них. Уже засняты спектры сотен тысяч звезд, но, не в пример светимостям, они оказываются гораздо менее разнообразны, и это позволяет разбить их на небольшое число спектральных классов.

Каждому спектральному классу соответствует определенная совокупность физических свойств звезды, так что, говоря, например, что звезда принадлежит к спектральному классу A, мы сразу в сжатой форме даем понятие о ее физической природе. Так, обычная звезда спектрального класса A будет в несколько десятков раз ярче Солнца, белого цвета, с температурой поверхности около 10 000°, по диаметру в несколько раз больше Солнца, причем в ее спектре самыми заметными будут темные линии

водорода. Все это заставляет нас подробнее остановиться на спектральной классификации звезд.

Прежде всего заметим, что звезды бывают разного цвета, всех оттенков от красного через желтый к

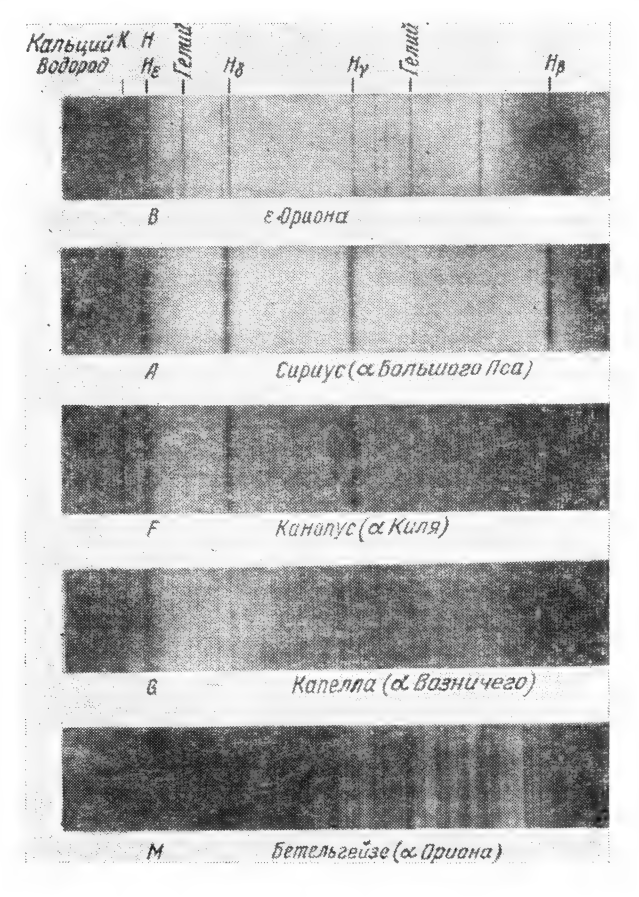



Рис. 134. Основные типы звездных спектров.

белому и голубоватому. Определенным цветам звезд соответствуют и определенного вида спектры. Все они похожи на спектр Солнца в том отношении, что у них

тоже на фоне непрерывного спектра видны темные линии. Но наряду со спектрами, содержащими в точности такие же линии, как и спектр Солнца, бывают спектры и с совершенно другими линиями.

По предложению Гарвардской обсерватории спектры классифицируют по интенсивности линий в них, и тогда они располагаются в порядке нисходящей температуры звезд, или, что то же, в порядке приближения их цвета от голубоватого и белого к красному. Температуры звезд меняются вместе с их цветом.

В приводимой табличке сопоставлены основные характеристики звезд, связанные с их спектром.

Звезды верхней части таблицы называются чисто условно ранними, остальные — поздними. Спектры, промежуточные между типичными, обозначаются так: спектр чуть более поздний, чем A0, обозначают A1, еще чуть более поздний A2, как раз промежуточный

**Спектральные классы звезд**

| Спектральный класс | Цвет | Температура в градусах | Вещества, линии которых в данном классе достигают своей наибольшей интенсивности | Типичные яркие звезды |
|---|---|---|---|---|
| O5 | Голубоватый | 30 000 | Ионизованный гелий | — |
| B0 | Белый | 20 000 | Гелий | β Ю. Креста |
| A0 | Белый | 10 000 | Водород | Сириус, Вега |
| F0 | Желтоватый | 8 000 | Ионизованные металлы | Канопус |
| G0 | Желтый | 6 000 | Нейтральные металлы | Капелла, Солнце |
| K0 | Оранжевый | 4 500 | Присутствуют слабые полосы окиси титана | Арктур |
| M0 | Красный | 3 000 | Сильные полосы окиси титана главенствуют | Антарес |

между A0 и F0 обозначают A5, едва более ранний, чем F0, как A9 и т. д. Спектров более ранних, чем O5, нет.

Для запоминания порядка спектральной последовательности, очень нужного, можно запомнить фразу, в которой первые буквы слов идут в этой последовательности, например:

«Один бритый англичанин финики жевал, как морковь».

Любопытно, что чем подобная фраза нелепее, тем она лучше запоминается.

Если вы предпочитаете другую фразу, придумайте ее сами, но, вероятно, еще прежде, чем это вам удастся, необходимость в ней отпадет, так как к этому времени вы уже запомните порядок букв. Он не соответствует алфавитному по случайным причинам.

Заметим, что среди холодных красных звезд, кроме класса M, есть две другие разновидности. В спектре одних вместо полос молекулярного поглощения окиси титана характерны полосы окиси углерода и циана (в спектрах, обозначаемых буквами R и N), а среди других характерны полосы окиси циркония (класс S).

В спектре каждой звезды есть множество линий разных химических элементов, но в таблице отмечены лишь наиболее характерные.

## ИЗ ЧЕГО СОСТОЯТ ЗВЕЗДЫ И ПОЧЕМУ У НИХ ПАСПОРТА РАЗНЫЕ?

Различие спектров — звездных паспортов — известно давно и получило правильное объяснение в 30-х годах нашего века на основе теории ионизации газов. Было доказано, что это различие зависит в основном не от различия химического состава их атмосфер, который у всех звезд почти одинаков, а от различия их температур. Так, при сравнительно низкой температуре звезд классов K и M или солнечных пятен могут существовать стойкие химические соединения, например, окись титана. В более горячей звезде окись титана распадется на составные части — титан и кислород. В ее атмосфере атомы металлов, легко возбуждаемые и охотно поглощающие свет фотосферы, будут играть главную роль в поглощении

и больше всего проявят себя в спектре. Если звезда еще горячее, то атомы металлов ионизуются в ней и дают уже другие линии в спектре.

У еще более горячей звезды атомы металлов теряют уже не один электрон, а больше, и линии их спектра переходят в невидимую нам ультрафиолетовую часть спектра, предоставляя место для назойливого выпячивания водородных линий. Водородные атомы возбуждаются в большем числе и поглощают свет фотосферы (и производят этим темные линии в спектре) при этой более высокой температуре более интенсивно.

Химический состав атмосфер звезд и Солнца по исследованиям Рессела (США), Унзольда (Германия) и других в основном почти одинаков и близок к химическому составу земной коры не только качественно, но и количественно, за исключением того, что в земной атмосфере нет заметных количеств водорода и гелия. Число атомов разного сорта в звездных атмосферах удалось теперь определить по интенсивности производимых ими темных линий в спектре, на основе теории спектров атомов и из лабораторных опытов по определению поглощательной способности различных газов и паров. Различия в химическом составе звездных атмосфер все же есть, они проявляются, например, в различии спектров звезд классов M и N и у горячих звезд типа Вольфа — Райе.

В следующей табличке даны логарифмы среднего числа атомов в столбе атмосфер сечением 1 *см*$^2$ для звезд и Солнца по сравнению с такими же, но относительными данными для Земли и метеоритов. (Надо помнить, что различие в логарифмах на 2 соответствует различию в числах в 100 раз и т. д.)

Все эти данные не вполне точны, но мы видим, что атомосферы звезд-солнц не только состоят из тех же химических элементов, что и земная кора, но и относительное содержание каждого из них в Земле и в звездах очень сходно, за исключением того, что в звездах и Солнце водорода и гелия гораздо больше.

Любопытно в связи с этим вспомнить, что философ Огюст Конт, позитивист и приверженец идеализма,

**Сравнительное изобилие химических элементов в атмосферах разных солнц, включая наше, в земной коре и в каменных метеоритах**

| | Звезды | Солнце | Земная кора | Каменные метеориты |
|---|---|---|---|---|
| Водород | 11,4 | 11,5 | 8,3 | 6,9 |
| Гелий | 10,2 | 10,2 | 0 | 0 |
| Углерод | 6,4 | 7,4 | 6,3 | 6,1 |
| Кислород | 8,0 | 9,0 | 8,5 | 8,4 |
| Натрий | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 6,4 |
| Магний | 7,5 | 7,8 | 7,2 | 7,7 |
| Алюминий | 6,9 | 6,4 | 7,8 | 6,8 |
| Кремний | 7,5 | 7,3 | 8,2 | 7,8 |
| Калий | 5,3 | 6,8 | 7,1 | 5,6 |
| Кальций | 6,7 | 6,7 | 7,2 | 6,5 |
| Титан | 6,0 | 5,2 | 6,4 | 5,3 |
| Ванадий | 4,9 | 5,0 | 5,2 | ? |
| Хром | 5,8 | 5,7 | 5,4 | 5,8 |
| Марганец | 6,5 | 5,9 | 5,6 | 5,6 |
| Железо | 6,7 | 7,2 | 7,2 | 7,6 |

накануне открытия спектрального анализа утверждал, что человек никогда не узнает химического состава звезд.

Развитие науки опровергло ошибочное и вредное утверждение Конта. Так же были опровергнуты предсказания невозможности наблюдать когда-либо солнечную корону вне полных затмений. Ставить пределы человеческому познанию нельзя!

В атмосферах звезд обнаружены не все химические элементы, известные нам, и причина этого та же, что в случае Солнца, о котором мы уже говорили.

Атмосферы звезд и Солнца отличаются от Земли по химическому составу, главным образом за счет их богатства водородом и гелием.

Согласно теоретическим расчетам недра звезд, по крайней мере большинства их, тоже состоят в основном из водорода.

В химическом составе отдельных звезд встречаются, как мы уже говорили, некоторые отклонения от средней нормы. Так, есть звезды, несколько более

богатые неоном или стронцием. Академик Г. А. Шайн (в Симеизе), удостоенный Государственной премии, обнаружил, что в некоторых холодных звездах встречается аномально много особого вида углерода, так называемого тяжелого изотопа углерода. Обладая теми же химическими свойствами, что обычные атомы углерода, атомы этого изотопа тяжелее на $^1/_{12}$ долю. Это показывает, что на разных мирах нет абсолютной тождественности условий, как и должно быть в бесконечной и бесконечно многообразной Вселенной.

Большой интерес представило открытие в 1965 г. нескольких «инфракрасных звезд». Эти звезды хотя и видны в телескоп визуально, но бóльшая часть их излучения сосредоточена в далекой инфракрасной области спектра, начиная с 9500 ангстрем (Å). Они несколько похожи по спектру на очень красные звезды, но представляют собой какой-то новый класс объектов с очень низкой температурой: 1000° и, может быть, даже 700°. Это приближает нас к допущению существования совсем темных звезд, но число их должно быть очень невелико. Ифракрасные звезды содержат в спектре полосы поглощения окиси титана и окиси ванадия, а, кроме того, и полосы поглощения... водяных паров! Да, да,— вода на звездах, на которых воды-то уж никак нельзя было ожидать. Но во внешних частях атмосферы столь холодных звезд горячие водяные пары могут существовать. Не забудьте, конечно, что и столь «холодные» звезды состоят из разреженного горячего г а з а — это тоже не огненно-жидкие, тем более не твердые тела.

Сравнительное однообразие химического состава известных небесных тел, быть может, разочарует кого-нибудь. Однако несомненно большое значение этого факта, подтверждающего материальное единство Космоса. Это единство дает нам право распространять на звездную Вселенную законы природы, познанные нами на опыте в скромных пределах нашей Земли. Все это — одно из ярких подтверждений правильности диалектико-материалистического мировоззрения.

## ГРАДУСНИКИ ДЛЯ ЗВЕЗД

Мы уже говорили о том, что температуру небесных индивидуумов можно узнать и не ставя им градусник. Способы определения температур звезд весьма разнообразны, и они взаимно проверяют друг друга. Результаты применения разных способов сходятся довольно хорошо друг с другом и приводят к выводам, уже указанным в таблице звездных спектров. Температуры звезд мы можем измерять, находясь от них на чудовищно больших расстояниях, улавливая получаемое от них тепло, либо вычислять их, когда мы знаем размеры и светимости звезд, вычислять их по относительной интенсивности разных линий в их спектре, на основе теории, дающей зависимость степени ионизации газа от его температуры и проверенной на опытах. Кроме того, температуры звезд можно определить по распределению энергии в их непрерывном спектре и даже по цвету звезды, зависящему от этого распределения.

Надо помнить, что поскольку наблюдаемый нами спектр и свет звезд производятся их атмосферами, постольку и определяемая нами температура, так же как и химический состав, относится только к атмосферам звезд. Температура внутри звезд определяется сложными теоретическими расчетами; она достигает многих миллионов градусов.

## СПЕКТРЫ — УКАЗАТЕЛИ РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЕЗД

Если знать светимость звезды и сравнить ее с видимым блеском звезды, то легко рассчитать расстояние до нее. Если пользоваться абсолютной $M$ и видимой звездной величиной $m$, то расстояние в световых годах $D$ находится легко из формулы

$$\lg D = \frac{m - M + 7\frac{1}{2}}{5}.$$

Как выяснили Адамс и Кольшюттер (США), спектры звезд являются хорошими указателями светимости,

а поэтому и расстояния, так как видимый блеск звезды $m$, нужный для сравнения, определить нетрудно.

Зная расстояния до некоторого числа звезд на основании других, весьма кропотливых методов их определения, можно было вычислить светимости и сопоставить их со спектрами тех же звезд. Результаты такого сопоставления изображены на рис. 152, описываемом нами несколько дальше (см. стр. 501).

Пока же достаточно сказать, что, например, обычным белым звездам определенного спектрального подкласса, допустим A0, A1, A2 и т. д., соответствует довольно определенная светимость, а какая именно — видно из упомянутой диаграммы.

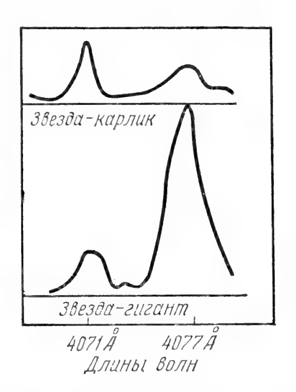



Рис. 135. Интенсивность почернения на негативах фотографий спектров гиганта и карлика одного и того же спектрального класса вблизи длины волны 4075 Å.

Таким образом, достаточно определить точно спектральный подкласс обычной белой звезды, и мы уже приблизительно знаем ее светимость, а поэтому и расстояние. (Есть звезды класса A другой светимости, но и спектры у них несколько иные. Такие звезды встречаются редко.) Почему это так — вопрос другой, но это не мешает нам пользоваться самим фактом.

С желтыми и красными звездами дело обстоит сложнее, хотя тоже достаточно определенно. Желтые и еще в большей степени красные звезды одного и того же спектрального класса резко делятся на две группы.

Одни из них названы гигантами, у них очень большая светимость. Другие названы звездами-карликами — их светимость значительно меньше. Звезд с промежуточной светимостью не существует, и светимость как карликов, так и гигантов одного и

того же спектрального подкласса является довольно определенной.

И вот тут-то, на наше счастье, в спектрах желтых и красных карликов и гигантов, принадлежащих к одному и тому же спектральному классу, оказалось некоторое различие. Одни и те же темные линии

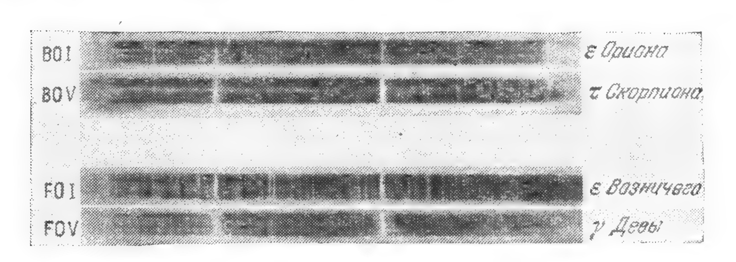



Рис. 136. Спектры звезд-сверхгигантов (верхние в паре спектров) и звезд-карликов (нижние).

в спектрах гигантов более тонки и резки, чем в спектрах карликов. Это помогает нам отличать их друг от друга.

Мало того, относительная интенсивность *некоторых пар линий* обнаруживает четкую зависимость от светимости звезды. Спектры — паспорта карликов и гигантов — не вполне одинаковы. Так, например, спектры оранжевых звезд 61 Лебедя и Альдебара́на в общем одинаковы, почему их и относят к одному и тому же спектральному классу K5. Но среди многочисленных одинаковых линий в их спектрах можно заметить, что линия кальция с длиной волны 4454 Å. в спектре звезды-карлика 61 Лебедя сильнее линии ионизованного стронция 4215 Å, а в спектре гиганта Альдебарана — наоборот. Нужен некоторый навык, чтобы отличать друг от друга спектры гигантов и карликов. Удается установить зависимость между относительной интенсивностью *пар линий* (подобных названным выше) и светимостью звезды, а затем пользоваться ею в дальнейшем. Тогда, сфотографировав спектр звезды, находящейся на неизвестном

расстоянии и имеющей неизвестную светимость, мы можем легко и быстро установить и то и другое.

Замечательно, что точность определения таким способом расстояний до звезд составляет около 20%, независимо от того, близка к нам звезда или далека. Это аналогично тому, как если бы мы могли с одинаковой относительной точностью измерить длину стола и расстояние от Москвы до Владивостока. Быть может, точность в 20% вам покажется недостаточно хорошей при измерении расстояния до звезд. Приходится с этим согласиться. Однако в большинстве случаев определить расстояние до звезды другим способом невозможно. Но для того чтобы по спектрам узнавать расстояния до звезд, многие расстояния необходимо было определить более прямым путем, и с ним мы познакомимся очень скоро.

Что касается физической причины второстепенных различий в спектрах карликов и гигантов, то она заключается в том, что атмосферы гигантов обширнее и разреженнее. Поэтому в них оказывается меньшее газовое давление, что сильно влияет на интенсивность некоторых линий. Остальные же линии, будучи чувствительны к изменению температуры газа, к изменению давления относятся с бóльшим равнодушием.

## ЛОТ В БЕЗДНАХ МИРОЗДАНИЯ

За пределами Солнечной системы к звездам приходится сделать такой большой скачок в расстояниях, что он удался всего лишь 140 лет назад, гораздо позднее, чем исчезли сомнения в подобии между Солнцем и звездами. Измеритель морских глубин,— лот, в области астрономии неоднократно «забрасывался» в направлении разных звезд и долго не мог достигнуть ни одной из них, не мог достать «дна». Это, конечно, лишь фигуральное сравнение, потому что, как и в случае определения температур светил, возможность непосредственных измерений расстояний здесь исключена. Как мы сейчас увидим, их можно найти лишь косвенным путем, вычисляя на основании измерения других величин. Этот путь, указанный

еще Коперником, состоит в измерении углов, но приборы и методы, позволяющие достигнуть необходимой точности, были созданы лишь в XIX веке.

Как и при определении расстояния до любого недоступного предмета, идея способа заключается в измерении разности направлений, по которым видна звезда с двух концов базиса известной длины. Расстояние, соответствующее этой разности направлений, можно вычислить с помощью тригонометрии. В данном случае диаметр Земли в качестве базиса оказался слишком мал, и для огромного большинства звезд при современной точности измерения углов даже диаметр земной орбиты недостаточен. Все же именно его Коперник рекомендовал взять за базис, что и выполнили ученые позднейших поколений.

Только 140 лет назад замечательному астроному В. Я. Струве в России, Бесселю в Германии и Гендерсону в Южной Африке удалось произвести достаточно точные измерения и впервые установить расстояния до некоторых звезд. Чувство, испытанное при этом современниками, напоминало радость моряков, которые при долгом плавании безуспешно бросали лот и, наконец, достали им до дна.

Классический способ определения расстояний до звезд состоит в точном определении направления на них (т. е. в определении их координат на небесной сфере) с двух концов диаметра земной орбиты. Для этого надо их определить в моменты, отделенные друг от друга полугодом, так как Земля за это время сама переносит с собой наблюдателя с одной стороны своей орбиты на другую.

Кажущееся смещение звезды, вызванное изменением положения наблюдателя в пространстве, чрезвычайно мало́, едва уловимо. Его предпочитают измерять по фотографии, делая для этого, например, на одной и той же пластинке два снимка избранной звезды и ее соседок, один снимок через полгода после другого. Большинство звезд так далеки, что их смещение на небе при этом совершенно незаметно, но по отношению к ним достаточно близкая звезда заметно смещается. Это ее смещение и измеряют с точ-

ностью до 0″,01— большей точности пока достигнуть еще не удается, но она уже намного выше точности, достигнутой полвека назад.

Описанное кажущееся смещение звезды вдвое больше того угла, под которым с нее был бы виден радиус земной орбиты и который называется годичным параллаксом. (Мы здесь говорим о радиусе потому, что в данном случае отличием орбиты Земли от окружности можно пренебречь.)

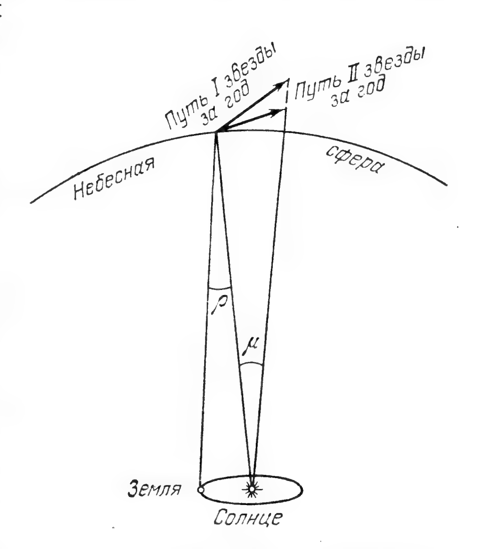



Рис. 137. Параллакс и собственное движение звезд. На рисунке параллакс $p$ двух близких друг другу звезд и их собственные движения $\mu$ одинаковы, но их путь в пространстве различен.

Самой близкой к нам звездой можно считать звезду первой величины $\alpha$ Центавра, невидимую в СССР, хотя одна близкая к ней, невидимая невооруженным глазом звездочка оказывается еще на 1% ближе. Параллакс этих звезд наибольший и составляет $^3/_4$″; он измерен с точностью около 1%, поскольку точность угловых измерений достигает 0″,01.

Под углом около 0″,01 нам представляется поперечник копейки, если ее поставить на ребро на Красной площади в Москве и рассматривать из Тулы или из Рязани! Вот какова точность астрономических измерений! Под углом в 0″,01, говоря точно, видна линейка, на которую смотрят под прямым углом с расстояния, в 20 626 500 раз большего, чем длина линейки.

По параллаксу легко узнать соответствующее расстояние. Мы получим расстояние до звезды в

радиусах земной орбиты, если разделим число 206 265 на величину параллакса, выраженного в секундах дуги. Чтобы выразить его в километрах, надо полученное число умножить еще на 150 000 000.

Мы уже знаем, что большие расстояния удобнее выражать в световых годах или в парсеках. Звезда $\alpha$ Центавра и ее соседка, прозванная «Ближайшая», так как она еще чуть-чуть ближе к нам, отстоят от нас в 270 000 раз дальше, чем Солнце, т. е. на 4 световых года. Курьерский поезд, идя без остановок со скоростью 100 *км* в час, добрался бы до нее через 40 миллионов лет! Попробуйте утешиться воспоминанием об этом, если вам когда-либо надоест продолжительная езда в поезде...

Точность измерения параллаксов в 0″,01 не позволяет измерить параллаксы, которые сами меньше этой величины, так что описанный способ неприменим к звездам, отстоящим далее 300—350 световых лет.

Кроме того, легко видеть, что если при параллаксе в 0″,10 ошибка в 0″,01 составит 10%, то при измеренном параллаксе в 0″,01 мы должны допустить, что истинный параллакс может составить и 0″,02 и 0″,00. В первом случае действительное расстояние (соответствующее 0″,02) будет около 150 световых лет, во втором случае оно равно бесконечности. При таких малых параллаксах ошибка в 20% при определении расстояния по спектру делает их более надежными, чем классический способ определения расстояний, на котором, впрочем, они сами основаны. Классическим способом, описанным здесь, за 140 лет определены расстояния до 6000 звезд (около 10 000 определений), спектральных же параллаксов за 30 лет определено около 28 000. Комментарии, как говорится, излишни.

С помощью описанного способа и других, использующих спектры, а также с помощью совершенно иных косвенных методов можно определять расстояния до звезд, отстоящих гораздо дальше, чем на 300 световых лет. Свет звезд некоторых далеких звездных систем доходит до нас за сотни миллионов световых лет. Это вовсе не значит, как часто думают,

что мы наблюдаем звезды, может быть, уже не существующие сейчас в действительности. Не стоит говорить, что «мы видим на небе то, чего в действительности уже нет», ибо подавляющее большинство звезд изменяется так медленно, что миллионы лет назад они были такими же, как сейчас, и даже видимые места их на небе меняются крайне медленно, хотя в пространстве звезды движутся быстро.

## ДВИЖЕНИЕ НЕПОДВИЖНЫХ ЗВЕЗД

Этот парадокс вытекает из того, что в отличие от блуждающих светил — планет—звезды созвездий некогда назвали неподвижными. Между тем неподвижного в мире ничего быть не может. Еще два с половиной века назад Галлей обнаружил перемещение Сириуса по небу. Чтобы заметить систематическое изменение небесных координат звезд, их перемещение на небе относительно друг друга, надо сравнивать точные определения их положения на небе, сделанные с промежутком времени в десятки лет. Невооруженным глазом они незаметны, и за историю человечества ни одно созвездие не изменило заметно своих очертаний.

Для большинства звезд никакого перемещения подметить не удается, потому что они слишком далеки от нас. Всадник, скачущий карьером на горизонте, как нам кажется, почти стоит на месте, а черепаха, ползущая у наших ног, перемещается довольно быстро. Так и в случае звезд — мы легче замечаем движения ближайших к нам звезд. Фотографии неба, которые удобно сравнивать друг с другом, очень нам в этом помогают. Наблюдения положения звезд на небе делались задолго до изобретения фотографии, сотни и даже тысячи лет назад. К сожалению, они были слишком неточны, чтобы из сравнения их с современными можно было заметить движение звезд.

«Летящая звезда Барнарда» — так назвали одну слабенькую звездочку за ее наиболее заметное среди звезд движение по небу, но движется она, если хотите, даже не черепашьим шагом, а еще медленнее. За год

она «пролетает» по небу дугу в 10″, т. е. чтобы переместиться на видимую величину лунного поперечника ($^1/_2{}^\circ$), ей потребуется две сотни лет. Если ее сфотографировать большим московским астрографом, дающим крупный масштаб, то изменение за год ее положения среди звезд на фотографии составит меньше одного миллиметра! Однако по сравнению с другими звездами это действительно «летящая» звезда. Для большинства звезд с уже измеренным движением по небу сдвиг их на фотографиях, снятых такими же большими телескопами с промежутками времени в десятки лет, выражается сотыми и даже тысячными долями миллиметра.

Определив величину и направление видимого углового перемещения звезд на небе, можно рассчитать, как изменится с течением времени расположение ярких звезд в созвездиях. Движение множества звезд было определено, в частности, в Пулковской обсерватории в прошлом веке, а позднее С. К. Костинским и в особенности А. Н. Дейчем.

Как ни ничтожны угловые перемещения звезд на небе, называемые *собственными движениями*, они соответствуют громадной скорости в пространстве, если вспомнить величину расстояния, с которого мы их видим. Надо иметь в виду, что видимое угловое перемещение звезды зависит не только от расстояния и от скорости движения ее в пространстве, но и от направления, по какому она движется относительно нас. На фоне далекого леса или дома несущийся к вам по дороге велосипедист смещается меньше, чем пешеход, идущий невдалеке вам наперерез.

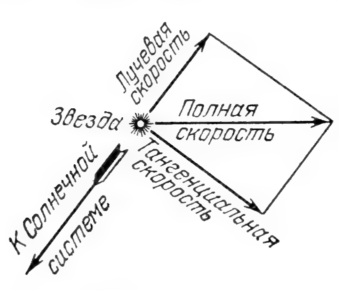


Рис. 138. Лучевая и тангенциальная скорости движения звезды.

Если звезда движется под прямым углом к линии, по которой мы на нее смотрим, то ее смещение на небе целиком соответствует ее скорости в пространстве,

которую легко тогда подсчитать, зная расстояние до звезды.

Пусть, например, такая звезда передвигается в год на $1''$ и находится от нас на расстоянии, в 2 062 650 раз большем, чем Земля от Солнца. Тогда, как мы знаем, длина дуги в $1''$ (в 206 265 раз меньшая радиуса окружности) составит здесь отрезок, в 10 раз больший расстояния от Земли до Солнца. Это путь, пройденный ею за год, и отсюда легко рассчитать ее скорость в километрах в секунду. Она составит:

$$\frac{1\,500\,000\,000}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 47,4 \ \text{км/сек.}$$

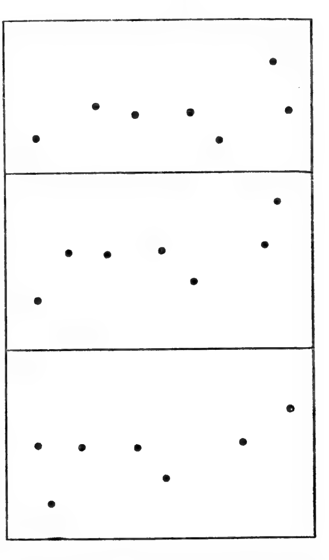


Рис. 139. Изменения очертаний теперешнего «ковша» Большой Медведицы. Верхний рисунок — нынешние очертания, средний — через 50 тыс. лет, нижний — через 100 тыс. лет.

У нас есть еще другая возможность изучать движение звезд — измеряя смещение линий в их спектрах. Эта лучевая скорость в сочетании с измеренным собственным движением при известном расстоянии до звезды (только в этом случае!) полностью определяет нам движение ее в пространстве и по величине и по направлению. Например, если обе скорости равны, то направление движения звезды составляет угол в $45^\circ$ с линией нашего зрения.

Усилиями многих обсерваторий, среди которых видное место занимают Пулковская и Симеизская, к настоящему времени измерены собственные движения более 100 тысяч звезд и лучевые скорости 7 тысяч звезд. К сожалению, не все звезды из этих 7 тысяч входят в число 100 000 названных выше. Собственные движения звезд определяют специалисты

по измерению фотографий (гоняясь за звездами с более заметным движением), между тем лучевые скорости определяют спектроскописты, выбирающие достаточно яркие звезды, для которых можно сфотографировать спектр с большой дисперсией. Скорости звезд составляют обычно десятки километров в секунду. Наибольшую из измеренных астрономами до настоящего времени скоростей (583 *км/сек*) имеет одна слабая звезда в созвездии Голубя.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗВЕЗДНОГО ДВИЖЕНИЯ

Первый вопрос, который сразу же встает при изучении движений звезд,— это вопрос, есть ли какая-нибудь закономерность в звездных движениях? Есть ли дороги в нашем звездном городе, по которым движется звездное население, регулируется ли как-либо это движение? Если такое регулирование есть, то роль милиционера в нем играет, конечно, закон всемирного тяготения.

Мы хотим знать не только то, что звезды движутся, не только то, какова их скорость, но и то, каковы законы их движения. Для этого нужно было накопить большой наблюдательный материал и суметь его проанализировать.

В результате такого анализа было найдено, что некоторые группы звезд движутся в пространстве параллельно и с одинаковой скоростью, будучи связаны взаимным тяготением и общностью происхождения. Такова, например, группа слабых звезд вокруг Альдебарана в созвездии Тельца, называемая Гиадами. Такова группа из пяти ярких звезд Большой Медведицы, а также некоторых других звезд, видимых в разных частях неба.

Кроме таких групповых движений, все звезды принимают участие в сложном вращении вокруг центра тяжести всей нашей звездной системы, но об этом мы поговорим в главе 11. Кроме участия в систематических движениях, почти каждая звезда имеет еще свою собственную скорость, подобно комару в комарином рое, относимом ветром.

## КУДА МЫ НЕСЕМСЯ?

Прежде чем изучать систематические движения звезд, надо выяснить, не влияет ли на их видимое движение наше собственное перемещение в пространстве. Ведь прежде чем выяснить истинное устройство Солнечной системы, пришлось же учесть кажущиеся движения светил, вызванные суточным и годичным движением Земли. Можно себе представить, что звезды в пространстве неподвижны, а наша Солнечная система несется среди них. Тогда нам казалось бы, что звезды движутся, расступаясь там, куда мы несемся, и смыкаясь в той стороне неба, откуда мы удаляемся, как деревья при нашей прогулке по лесу. Но в действительности звезды — не неподвижные деревья. Каждая из них движется, и их лучше сравнить с огоньками на носу лодок в большом порту, в который тихо входит ночью наш пароход. Ялики и шлюпки тихо скользят по всем направлениям, неся с собой в темноте свои огоньки. Несмотря на этот хаос движений, мы заметим, что в общем, в *среднем* огоньки лодок перед нами как бы расступаются, когда мы к ним подплываем, и смыкаются позади нас. Для обнаружения движения Солнечной системы можно допустить, что движения звезд беспорядочны, хаотичны. Взяв на небе участки с достаточным числом звезд, мы рассмотрим среднее движение звезд в них. Их хаотические движения в разные стороны взаимно исключатся, и останется только то движение, которое для них всех является общим. Звезды в такой площадке в среднем движутся в одну сторону, как стадо коров, в котором каждая бродит туда или сюда, пощипывая траву и подаваясь все же вперед вместе со всем стадом на свежую траву.

В нашем распоряжении есть еще спектральный анализ, позволяющий определить, в каком участке неба звезды в среднем приближаются к нам с наибольшей скоростью и в каком удаляются. Эти участки на небе, очевидно, должны располагаться прямо друг против друга. Из такого анализа лучевых скоростей звезд можно получить скорость и направление

движения Солнечной системы, а из анализа собственных движений — только ее направление.

Изучая эти средние систематические движения звезд, являющиеся отражением движения всей Солнечной системы, мы приходим к заключению, что она со скоростью 20 *км/сек* несется в направлении созвездий Лиры и Геркулеса *). Это — ее движение по отношению к сравнительно близким звездам, взятым в совокупности. Оно сказывается в изменении видимого положения звезд, подобно тому, как меняется для вас видимое положение коров в том же пасущемся стаде, если вы пойдете через него насквозь. Ввиду относительности движения в данном случае безразлично — вы ли пробираетесь сквозь стадо, оно ли минует вас на своем пути. Подобно этому мы движемся по отношению к звездам.

Скорость Солнечной системы в этом движении того же порядка, что и собственные скорости звезд. Нечего опасаться, что, летя к созвездию Лиры, мы на него налетим и разобьем его в куски. Скорее можно было бы опасаться, что пуля, пущенная вверх, в «воздушный флот», разобьет его. Созвездие Лиры — лишь направление, по которому видно множество звезд. Пространство между ними так же просторно, как и пространство между звездами, окружающими Солнце сейчас. Звезду от звезды отделяют световые годы. Если у вас есть охота, попробуйте подсчитать, через сколько лет мы приблизимся вдвое к яркой звезде Веге (пренебрегая ее движением), если до нее 25 световых лет, а наша скорость 20 *км/сек*.

Изучение звездных движений развивается, как говорят, методом последовательных приближений. Поясним это применительно к изучению движений звезд. Сначала мы считаем движения звезд хаотичными и выявляем движение Солнечной системы. Затем учитываем его влияние на видимые движения звезд и после этого выявляем систематические движения групп звезд. Узнав их, мы вводим поправку

---

*) Точнее говоря, это направление близко к границе между этими созвездиями.

в наше первоначальное предположение о хаотичности звездных движений и снова, уже правильнее, определяем движение Солнца и опять повторяем свои дальнейшие исследования. Так, постепенно удается разобраться в кажущемся хаосе многочисленных движений звезд в нашей Вселенной и уточнить картину, нарисованную поэтом:

Небесный свод, горящий славой звездной,
Таинственно глядит из глубины,
И мы плывем, пылающею бездной
Со всех сторон окружены.

*(Тютчев)*

Интересно отметить, что своевольные, как нам кажется, скорости звезд (как отдельных коров в стаде) тем больше, чем сами звезды легче. Большинство тяжелых гигантов, как тучные люди, двигается медлительно, а легкие карлики подвижны как детвора, впрочем... есть подозрение, что в звездной семье в смысле возраста детворой-то являются как раз гиганты, а не карлики. Но это вопрос уже совсем другого рода.

Поучительно, что в газе, состоящем из разных молекул, более тяжелые молекулы тоже двигаются более медленно.

## СНЯТИЕ МЕРКИ СО ЗВЕЗД

Размеры планет легко рассчитать, зная расстояния до них и измерив угловой диаметр видимого их диска. Но как снять мерку со звезды, если даже в самый мощный телескоп ее диска не видно, так мал его угловой диаметр? Даже в 5-метровый телескоп все звезды видны как точки. Тут нам опять помогает физика.

Поскольку звезды излучают почти как абсолютно черное тело, закон излучения ими энергии в разных частях спектра известен. Если знать температуру звезды и ее светимость, то можно вычислить полную энергию, испускаемую звездой. Но для нее, как для черного тела, теоретическая физика умеет вычислить

полную энергию, испускаемую одним квадратным сантиметром ее поверхности. По закону Стефана — Больцмана она пропорциональна четвертой степени температуры. Если мы разделим определенную таким образом полную энергию, испускаемую звездой, на энергию, испускаемую одним квадратным сантиметром ее поверхности, то мы получим, очевидно, величину поверхности звезды. Звезда — шар, и, зная ее поверхность, уже школьник сможет вычислить ее диаметр.

Этот способ снятия мерки со звезд вполне надежен, но, как и всегда в науке, естественно хотелось бы найти возможность его проверить. Проверочный способ, применимый пока лишь к наиболее ярким звездам и с наибольшим угловым диаметром диска, был придуман в 1920 г. Он основан на явлении, называемом интерференцией. Для его осуществления Пизу в США пришлось преодолеть ряд технических затруднений, связанных с тем, что даже наибольший в мире телескоп оказался для данной цели недостаточно большим.

Выход из положения нашли, приделав на конце $2^1/_2$-метрового телескопа (наибольшего в то время) стальную ферму длиной 6 *м*, по которой на тележке передвигались два больших плоских зеркала, принимавших свет звезды и отражавших его на зеркало телескопа. Тогда в телескоп изображение звезды представлялось крохотным полосатым кружком. При определенной величине расстояний между зеркалами полоски на этом кружке исчезали, и тогда теория интерференции позволяла вычислить угловой диаметр невидимого диска звезды. Зная расстояние до звезды, можно было вычислить и ее линейный диаметр.

Первая звезда, диаметр которой в 1920 г. удалось измерить «непосредственно» — интерферометром, была яркая красная звезда в созвездии Ориона — Бетельгейзе. Вообще первые измерения удались для гигантских красных звезд, не особенно к нам близких, но у которых угловые размеры, видимые с Земли, ожидались наибольшими. После измерения десятка таких звезд наступил длительный перерыв —

дальше мощи инструмента оказалось недостаточно. В 1956 г. в Англии удалось наконец измерить диаметр Сириуса, а в 1963 г. в Австралии измерили диаметр Веги. Это — белые звезды, гораздо меньшие, чем красные гиганты, но одни из ближайших к нам.

Результаты всех этих измерений и расчетов мы приведем немного позже. Они показывают крайнее разнообразие звездных размеров. Отметим лишь, что одной из наибольших среди известных звезд является звезда VV в созвездии Цефея. Она больше Солнца по диаметру по крайней мере в 1600 раз. Есть звезды, которые гораздо меньше Солнца.

## ЗВЕЗДНЫЕ ПАРЫ

Уединение звезд, их обособленность друг от друга нельзя назвать правилом. Многие из них образуют пáры, вероятно, на всю их жизнь, называемые двойными звездами. Они обращаются около их общего центра тяжести под действием взаимного тяготения. Бывает, правда, что иногда две звезды в телескоп случайно видны близко друг к другу, тогда как в действительности в пространстве они совершенно не связаны между собой. Это так называемые оптические двойные звезды. В большинстве же случаев мы имеем дело с физически двойными звездами, т. е. тяготеющими друг к другу.

Обращение их около общего центра тяжести обнаружил впервые Гершель в Англии и подтвердил В. Я. Струве в России.

Измеряя взаимное положение двойных звезд из года в год, можно определить период их обращения, который в большинстве случаев весьма велик и превышает тысячи лет. Самый короткий из них составляет около года.

Из таких измерений выясняется и форма их орбит, но истинный размер орбит становится известен только в том случае, когда известно расстояние. В самом деле, наблюдения дают лишь угол, под которым видна большая полуось орбит звезд. Пусть, например, большая полуось орбиты спутника (менее яркой

звезды) видна нам под углом 2″, а параллакс звезды, т. е. угол, под которым со звезды была бы видна большая полуось орбиты Земли, составляет 0″,2. Ясно, что в таком случае большая полуось орбиты спутника двойной звезды в 10 раз больше расстояния от Земли до Солнца.

Изучение взаимного движения двойных звезд необычайно ценно для нас прежде всего в двух отношениях. Во-первых, оно показывает, что закон всемирного тяготения справедлив и в мире звезд, далеко

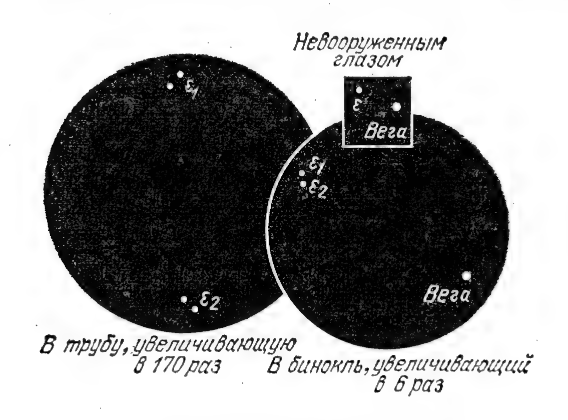



Рис. 140. Звезда ε Лиры.

за пределами солнечной системы. Во-вторых, оно предоставляет нам единственную возможность определять массы звезд. Напомним, что по III закону Кеплера можно написать такую пропорцию:

$$\frac{(m_1 + m_2)\, P^2}{(M + m)\, T^2} = \frac{A^3}{a^3},$$

где $m_1$ и $m_2$ — массы наших двух звезд, имеющих период обращения $P$ и большую полуось орбиты спутника относительно главной звезды, равную $A$, $M$ и $m$ — массы Солнца и Земли, $T$ — год и $a$ — расстояние от Земли до Солнца. Если массу Солнца

принять за единицу, так же как $T$ и $a$, то, пренебрегая крошечной массой Земли, имеем

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{P^2}.$$

Эта простая формула дает тогда сумму масс компонент двойной звезды, т. е. членов этой системы. Если еще определить из наблюдений расстояния $x_1$ и $x_2$ звезд

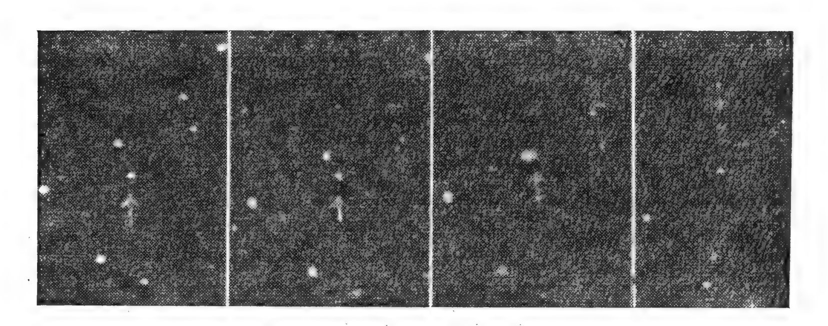


Рис. 141. Орбитальное движение компонент двойной звезды $\alpha$ Центавра.

от их общего центра тяжести, то, как известно, $x_1 : x_2 = m_2 : m_1$. Из этих двух уравнений тогда находится неизвестная масса каждой из звезд в отдельности.

Оказалось, что в противоположность светимостям и размерам массы звезд сравнительно мало отличаются друг от друга. Массы гигантов больше, чем массы карликов, но в общем все они заключены в пределах от 40 до $^1/_4$ массы Солнца. Только отдельные редкие звезды имеют массы, доходящие до сотни масс Солнца. Это однообразие в массах звезд наряду с разнообразием размеров их приводит к заключению, что плотности звезд должны быть крайне различны. Между массой и светимостью звезд есть четкая зависимость (правда, ей подчиняются не все звезды) и она показывает, что большую силу света способны иметь лишь массивные звезды, так что масса звезд определяет соотношение между их температурой и размерами.

Но вернемся к двойным звездам. Среди них мы встречаем такие пары, которые напоминают двух близнецов, настолько составляющие их звезды похожи во всем друг на друга. Встречаются пары звезд, похожие и на карикатуру, где неразлучны между собой слон и моська. Обычно в таких случаях слон — огромная, яркая, но холодная и красная звезда,

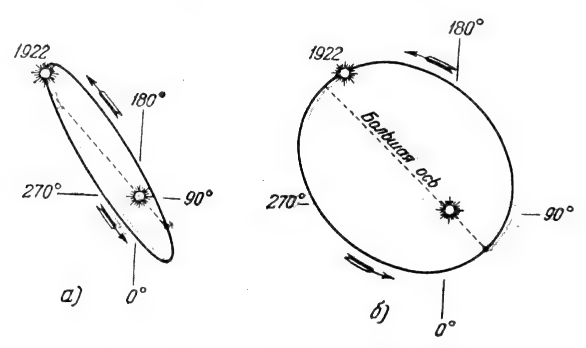



Рис. 142. Орбита двойной звезды $\alpha$ Центавра: *а* — видимая; *б* — истинная.

а моська — его спутник — маленькая, слабенькая, но горячая и голубоватая.

Представьте себе, что мы — жители планеты, которая, может быть, обращается вокруг одной из таких звезд. Какие изумительные картины разворачиваются там на небе! Из-за горизонта встает, например, красный громадный круг солнца, в сотни раз большего видимого поперечника, чем наше. За ним встает маленькое голубоватое солнце и постепенно исчезает за массивной спиной своего патрона, чтобы потом снова из-за нее вынырнуть. Или же там настает день, залитый красным светом, как у нас на закате Солнца, а вместо ночи затем наступает голубой день. Может быть, иногда голубое солнце проходит перед красным и сияет, как голубой бенгальский огонь на красном фоне.

А что можно увидеть в системе существующих тройных и даже четверных звезд, где одна из звезд или обе являются сами системами двойных солнц,

разного размера и цвета! Какие причудливые комбинации солнц и какая игра красок там должны быть, как сложно там меняются ночи и дни с разным числом солнц на небе, дни, длящиеся иногда годами и, может быть, даже никогда не переходящие в ночь!

Очень тесные пары звезд не раскрывают нам своей природы даже в телескоп. В него такая пара выглядит как одна звезда, но тут на помощь нам приходит спектральный анализ.

В «ручке ковша» Большой Медведицы вторая с конца звезда второй величины называется Мицар. Нормальным глазом близко-близко от нее (на расстоянии 11′) видна звездочка пятой величины, которую заметили еще арабы и назвали Алькор, что значит «всадник». В небольшой телескоп видно, что сам Мицар состоит из двух почти одинаковых звезд с взаимным расстоянием 14″, а Алькор кажется от них очень далеким. Мицар — визуально-двойная звезда.

В 1887—1889 гг. на Гарвардской обсерватории было получено много фотографий спектра более яркой компоненты в паре Мицара — Мицара А.

Рассматривая эти снимки спектра (спектрограммы), директор обсерватории Эдуард Пиккеринг поразился, увидев, что на одних снимках линии спектра — как линии, а на других они двойные. Когда стали исследовать это подробнее, оказалось, что линии спектра раздваиваются периодически. Точнее говоря, линии по временам расщепляются на две, расстояние между ними все растет, достигает наибольшей величины, затем снова уменьшается, линии опять сливаются и затем снова так же расщепляются, проделывая все свои превращения так же точно, как часы, а вернее сказать, еще точнее. Период расщепления составляет $10^1/_4$ дней. Но ведь смещение линий со своего места соответствует изменению скорости движения источника света,— рассуждал Пиккеринг,— а наличие двух линий позволяет подозревать наличие двух источников света — двух звезд. По-видимому, их спектры одинаковы и накладываются друг на друга, так как в телескоп на месте Мицара А двух звезд не видно. Если два спектра, наложенные

друг на друга, будут смещаться в разные стороны, то их линии, вначале совпадающие, будут раздвигаться; тут не одна линия иногда раздваивается, а две линии иногда сливаются вместе.

Движение линий в спектре то в разные стороны, то навстречу друг другу вызвано, должно быть, движением звезд — владельцев этих спектров. Когда

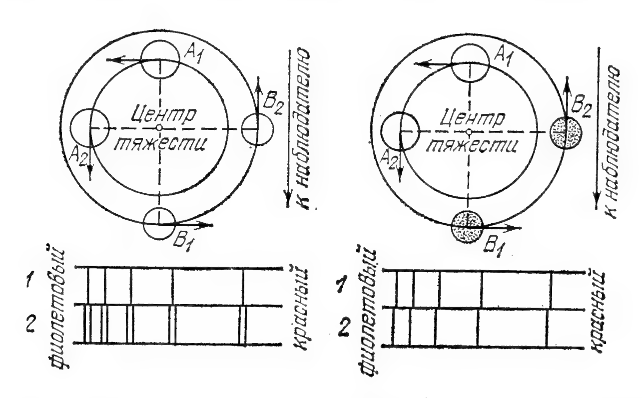



Рис. 143. Раздвоение и смещение линий в спектре спектрально-двойной звезды из-за обращения ее компонент по орбите. Когда компоненты близки по яркости, происходит раздвоение линий (слева); в случае же, когда одна компонента много ярче другой, происходит смещение линий более яркой компоненты (справа).

одна из них движется к нам, тогда ее спектр вместе с его линиями смещается к фиолетовому концу спектра. В то же время другая звезда удаляется, и ее линии сдвигаются к красному концу спектра. Скорости движения звезд, как видно, одновременно увеличиваются и убывают, притом периодически. Пикеринг сделал вывод, напрашивающийся сам собой: перед нами тесная двойная звезда с плоскостью орбиты, близкой к лучу нашего зрения. Обращаясь вокруг общего центра тяжести и несясь по своим орбитам, каждая из звезд периодически то приближается к нам, то удаляется. Когда обе они (находящиеся всегда в противоположных точках относительной орбиты) несутся перпендикулярно к лучу зрения, то

по принципу Доплера линии их спектра занимают нормальное положение и потому сливаются вместе.

Вскоре А. А. Белопольский в Пулкове и другие ученые за границей открыли еще ряд звезд с периодически раздваивающимися линиями, тоже являющихся *спектрально-двойными звездами*, как их назвали.

Правильность объяснения такого раздваивания линий в спектре была подтверждена в 1920 г., когда с помощью интерферометра, применявшегося для измерения диаметров звезд, удалось измерить расстояние между сочленами одной спектрально-двойной звезды. Измеренное интерферометром, но не ощутимое непосредственно в телескоп ничтожно малое угловое расстояние между ними в точности совпало с вычисленным на основании спектральных данных. Эта звезда была Капелла, и угловое расстояние между составляющими ее звездами было равно в это время 0″,045, что чуть-чуть меньше расстояния, на котором две звезды могут быть видимы по отдельности в наибольший в мире телескоп.

У большинства спектрально-двойных звезд спутник слишком слаб, чтобы линии его спектра были видны на фоне яркого спектра главной звезды. Тогда вместо раздвоения линий наблюдается лишь периодическое колебание одиночных линий (см. рис. 143 справа). Потребовалось известное остроумие, чтобы из наблюдений колебаний лучевой скорости звезды вывести данные об орбите двойной системы. Периоды обращения спектрально-двойных звезд более короткие — от 2 часов до 15 лет.

Много таких тесных звездных пар обнаружили, в частности, в Симеизской обсерватории Г. А. Шайн и В. А. Альбицкий. Бывает, что в системе непосредственно видимой двойной звезды один сочлен или даже оба сами по себе — спектрально-двойные.

Эти случаи еще раз показывают, как спектральный анализ разоблачает «всю подноготную» звезд, позволяет открывать невидимые движения их. Спектр звезды — это такой ее паспорт, который выдает ее с головой и не позволяет укрыть от нашего пытливого ока, кажется, ни одну из ее тайн.

## ДЬЯВОЛЬСКИЕ ЗВЕЗДЫ

Первую дьявольскую звезду открыли арабы. Это была β Персея, которую они, собственно говоря, назвали просто «дьяволом» (Эль-Гуль). Она поразила их тем, что будучи обычно около 2-й звездной величины, она вдруг ослабевала почти до 4-й — она менялась на небесах, считаемых неизменными, где живет Аллах. Чем может быть такая звезда, как не звездой дьявола, если не им самим!

После долгой смены исторических событий и возникновения новых очагов культуры, несколькими веками позже изменение блеска β Персея, Эль-Гуля, переделанного европейцами в Алголя, в 1670 г. подметили в Европе.

Еще через сто с лишним лет глухонемой от рождения любитель астрономии Гудрайк обнаружил периодичность изменения блеска Алголя. Его период оказался 2 дня 20 часов 49 минут. Но из них 2 дня 11 часов звезда остается постоянного блеска, а затем в течение 5 часов теряет $^2/_3$ своего блеска с тем, чтобы через 5 часов снова к нему вернуться. Кривая изменения блеска Алголя в зависимости от времени изображена на графике, построенном на основании современных нам измерений с помощью фотоэлектрического фотометра (рис. 144).

Странное и упорное поведение дьявольской звезды было объяснено тем, что тут, собственно, не одна звезда, а две, но одна гораздо ярче другой. Они обращаются друг около друга по орбите так, что по временам менее яркая частично закрывает от нас более яркую, производя периодические затмения.

Правильность объяснения была окончательно подтверждена в конце прошлого века, когда оказалось, что Алголь — спектрально-двойная звезда, у которой спектр слабо светящегося спутника невидим, как и следовало ожидать. При этом в момент затмения линии спектра занимают нормальное место, т. е. звезда движется в это время по орбите под прямым углом к нашему лучу зрения (не к нам и не от нас),

как и должно быть. Кроме того, между главными минимумами блеска было обнаружено вторичное небольшое ослабление блеска, соответствующее затмению слабой звезды более яркой.

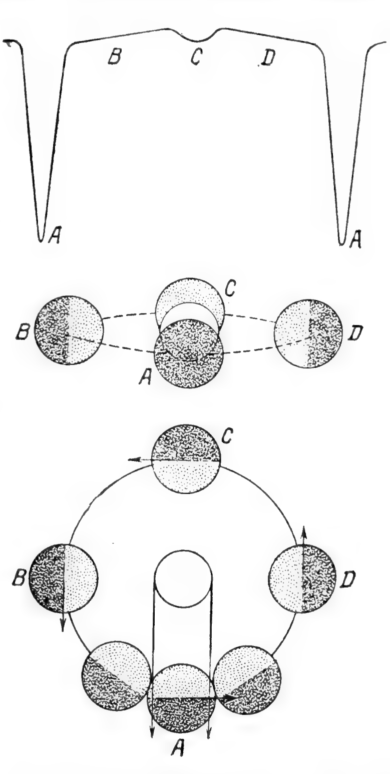



Рис. 144. Кривая изменения блеска «дьявольской звезды» — Алголя и ее происхождение. Алголь — двойная звезда, и составляющие его периодически затмевают одна другую. Видно, что более яркая звезда заметно освещает обращенное к ней полушарие более слабой.

Было открыто много других двойных звезд этого же типа, названных *затменно-двойными*, или *алголями*. Исследование кривых изменения их блеска в совокупности со спектральными данными позволяет изучить эти звезды так подробно и точно, как этого нельзя сделать ни в каком другом случае. Поэтому «дьявольские» звезды среди всех звезд для нас наименее загадочны, и дьявольского в них не остается для нас ничего, кроме разве «дьявольски» подробной их изученности.

В итоге мы находим их форму и размеры по сравнению с Солнцем, размеры и форму орбиты и ее положение в пространстве, светимость звезд и их температуру, массы звезд и характер затмений, а сверх того иногда можем изучить строение их атмосфер почти так же подробно, как у Солнца, хотя в телескоп эти звезды по виду ничем не отличаются от любых других звезд и кажутся такими же светлыми точ-

ками. Благодаря близости друг к другу и возникающим отсюда сильным приливам в массах этих звезд форма их не шарообразная, а вытянутая. Они вытянуты по направлению друг к другу и обращаются как бы «нос к носу».

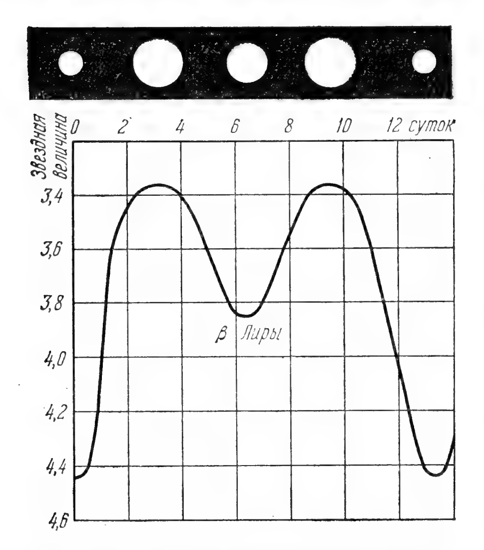



Рис. 145. Кривая изменения блеска β Лиры. Вверху изменение блеска звезды наглядно изображено величиной белых кружков.

Много звезд типа Алголя открыл и изучил в начале нашего века московский астроном С. Н. Блажко.

По кривой блеска этих звездных систем астрономы читают их свойства почти так же свободно, как хороший музыкант читает ноты. В. П. Цесевич обладает наибольшим в СССР собранием собственных наблюдений звезд, меняющих блеск, а Д. Я. Мартынов известен тем, что «с пристрастием» допрашивает бывшие «дьявольские» звезды об их строении со столь разных точек зрения и разделов науки, что им ничего не остается, как разоблачаться перед ним от остатков своих «тайн».

## ПОРТРЕТНАЯ ГАЛЕРЕЯ ЦВЕТНЫХ ЗВЕЗД

Пройдемся по портретной галерее звезд и посмотрим сначала на типичные лица рядовых обитателей звездной Вселенной, а затем на портреты некоторых звездных знаменитостей.

Вот висят рядом два портрета, и в одном из них мы улавливаем знакомые черты,— это как будто наше

Солнце. Тот же желтый цвет, тот же спектральный класс G и температура 6000°. Даже светимость, масса, плотность и размер у этой звезды почти те же, но, увы, подпись под портретом говорит нам, что это не Солнце, а звезда $\alpha$ Центавра А. В складе портретов звезд, накопленных астрономией, лежат целые груды точно таких же портретов, однако все с разными подписями, указывающими имя оригинала, но если подписи перепутаются и одна этикетка пристанет к чужому портрету, то ничего страшного не произойдет. Эти звезды настолько «все на одно лицо», что их собственные «дети» — планеты не могли бы их отличить друг от друга. Личность нашего Солнца оказывается столь обыденной, что к нему можно было бы потерять всякий интерес, если бы мы не имели удовольствия ежедневно пользоваться его теплом и светом.

Поднимем еще раз наш разочарованный взор на портрет, и мы заметим, что это собственно лишь половина портрета звезды и нашей ближайшей соседки в пространстве — $\alpha$ Центавра. Потому-то под этой половинкой и подписано $\alpha$ Центавра А. Рядом, под другой половинкой написано $\alpha$ Центавра В; ведь $\alpha$ Центавра — это двойная звезда.

Со второй половинки портрета на нас смотрит звезда почти такого же веса, немного более легкая (на 15%) и впятеро менее яркая. Если ее компаньонку причислить по цвету ее оболочки, так сказать, к желтой расе звезд, то саму ее надо назвать краснокожей. Густооранжевый цвет ее поверхности вполне соответствует ее спектральному классу K5 и более низкой температуре: 4000°. Диаметр звезды составляет $^3/_4$ солнечного, а средняя плотность немного больше, чем у воды, но меньше, чем у Солнца. Из общей подписи к этим портретам мы узнаем, что период обращения этих двух звезд составляет 78,8 года — немного больше, чем у Урана в солнечной системе, а большая полуось взаимной орбиты в 23,3 раза больше, чем расстояние от Земли до Солнца, т. е. опять-таки того же порядка, что расстояние между Солнцем и Ураном. Однако здесь не огромное

Солнце и планета, а пара почти одинаковых солнц. Орбита спутника — $\alpha$ Центавра В — относительно главной звезды, имеющая эксцентриситет 0,51, более вытянута, чем орбиты больших планет в нашей Солнечной системе, и больше похожа на орбиты короткопериодических комет. Плоскость орбиты наклонена к лучу зрения всего на $11^\circ$, так что орбита видна нам в сильном ракурсе (см. рис. 142, стр. 466). Мы знаем, в какой части орбиты спутник движется на нас и в какой он от нас удаляется; помимо того, вся система в целом (ее центр тяжести) приближается к нам со скоростью 22 *км/сек*. Однако с такой же скоростью (точнее, 23 *км/сек*) она движется в поперечном направлении, так что в итоге по отношению к нам система $\alpha$ Центавра летит «вкось» под углом $45^\circ$ со скоростью 31 *км/сек*.

Под портретом $\alpha$ Центавра у стены прислонен, как вы замечаете, еще какой-то маленький портретик. «Видите ли,— объясняет вам заведующий этой «портретной галереей»,— тут у нас висят семейные портреты, и я не знаю, нужно ли рядом с портретом четы $\alpha$ Центавра повесить этот портрет «Ближайшей Центавра».

Дело в том, что она к нам ближе, чем $\alpha$ Центавра, всего лишь на две световые недели и движется сейчас в пространстве в том же направлении и с той же скоростью, как $\alpha$ Центавра, но на небе она отстоит от нее больше чем на 2 градуса. Значит, в пространстве расстояние между ними составляет около одной тридцатой того расстояния, на каком мы сами находимся от $\alpha$ Центавра.

Вы помните, что последнее составляет 4,3 светового года.

Несомненно, что они чувствуют некоторое взаимное тяготение, и их дружное движение едва ли случайно. Быть может, между ними была когда-то более тесная связь, может быть, они соединены узами родства, т. е. когда-то и где-то вместе родились, но трудно быть уверенным в том, что Ближайшая есть далекий спутник $\alpha$ Центавра и обращается вокруг нее по огромной орбите с периодом в тысячи лет.

Может быть, наблюдаемая общность их движения аналогична параллельному прямолинейному движению многих звезд в группе Гиад и не представляет собой движения компонентов двойной звезды по криволинейной орбите с такой малой кривизной, что последнюю невозможно обнаружить за короткий срок наших наблюдений».

Рассмотрите портретик Ближайшей Центавра, если хотите. Он мал, потому что в нашей галерее портреты звезд писаны, если и не в «натуральную величину», то во всяком случае с сохранением относительных пропорций. Этот портрет тоже один из огромнейшего множества ему подобных и типичен для звезд, называемых красными карликами. Правда, среди известных этот карлик превышает «ростом» только звезду Вольф 359 и еще мало изучен, но раз уж он попался и достаточно типичен, то не стоит обращаться к другим портретам из-за того, что художник может быть не совсем точно воспроизвел черты оригинала.

Ближайшая Центавра имеет светимость в 15 000 раз меньше солнечной, и масса ее в семь раз меньше, чем у Солнца. Она густокрасного цвета, спектрального класса M, с температурой всего лишь в 3000°. Если бы мы заменили ею Солнце, то она освещала бы нас красным светом, только в 30 раз более сильным, чем свет полной Луны. Диаметр Ближайшей Центавра в шесть раз меньше солнечного или всего в полтора-два раза больше, чем диаметр Юпитера, крупнейшей из наших планет. Средняя плотность этого красного карлика почти в пятьдесят раз больше плотности воды. Если бы это вещество было жидкостью, то в ней, как пробки, могли бы плавать куски железа и чугуна, утюги и паровозы. Однако это не жидкость, а очень сжатый газ, который в недрах звезды имеет гораздо большую плотность, а в атмосфере ее он почти так же разрежен, как и в атмосфере нашего Солнца.

«Пойдемте во двор,— говорит заведующий,— я покажу вам писаный в том же масштабе портрет звезды, столь же холодной и «краснокожей» и того же

спектрального класса М. Ее зовут Бетельгейзе или $\alpha$ Ориона и ее портрет не умещается в галерее». И правда, после портрета Ближайшей Центавра, который вы смотрели, держа в руках, вам приходится теперь задрать голову высоко вверх, чтобы увидеть верхний край круга, изображающего Бетельгейзе. Портрет нашего Солнца был размером с человеческое лицо, а портрет Бетельгейзе возвышается на 60 *м*, достигая верхним краем двадцатого этажа!




Рис. 146. Сравнительные размеры Солнца, компонент Капеллы ($\alpha$ Возничего) и Бетельгейзе.

Огромное тело Бетельгейзе больше, чем у Солнца, в 300 раз по диаметру и в 27 000 000 по объему. Но оно массивнее Солнца всего лишь в 15 раз. Поэтому вещество Бетельгейзе, не в пример веществу Солнца, с его плотностью, в $1^1/_2$ раза большей плотности воды, очень легкое. Нельзя сказать, что оно легкое как пух, потому что оно в полтора миллиона раз легче воды, несравненно легче пуха и в полторы тысячи раз легче комнатного воздуха! Наполнив таким веществом объем Большого театра и сжав затем это вещество в объеме спичечной коробки, вы бы могли свободно положить такую коробку в карман, не рискуя порвать его подобной тяжестью.

По светимости, в 2600 раз большей, чем у Солнца, по гигантскому размеру, по ничтожной плотности и лишь в малой степени по массе отличается краснокожая Бетельгейзе от Ближайшей Центавра, на которую она похожа по цвету, спектру и температуре.

Бетельгейзе действительно гигант звездного мира, вернее, даже сверхгигант, и экземпляров, подобных ему, в звездной Вселенной сравнительно немного.

Обращая внимание на цвет, спектр и температуру в поисках портрета Солнца, вы можете задержаться взглядом на портрете «желтолицей» Капеллы. Она тоже желтая и остальные признаки у нее те же, но она опять-таки отличается от Солнца тем, что она — желтый гигант, тогда как Солнце — желтый карлик.

Как и $\alpha$ Центавра, Капелла, собственно говоря, не звезда, а система двух звезд. Легко наблюдаемая спектрально, она находится на пределе «разрешения» для сильнейших в мире телескопов. Период обращения системы составляет 104 дня 2 часа 34 минуты; орбита, почти круговая, имеет радиус лишь немногим меньше радиуса земной орбиты.

Мы получим модель Капеллы, если вместо Солнца поместим такую же желтую звезду с массой в 4,2 раза большей солнечной, и диаметром в 12 раз большим солнечного, а Землю заменим другим солнцем, с диаметром в 7 раз большим солнечного, с массой в 3,3 раза большей нашего Солнца, и на 1000° более горячим. Новое солнце — желтый гигант, в 110 раз ярче нашего, а его спутник в 69 раз ярче. Средняя плотность обеих звезд — желтых гигантов вдвое больше плотности комнатного воздуха. Поперечная скорость системы — 33 *км/сек*, лучевая скорость — 30 *км/сек* (удаление), так что ее полная пространственная скорость относительно солнечной системы составляет 45 *км/сек*.

Желтые гиганты тоже гораздо малочисленнее, чем желтые карлики.

## ПОРТРЕТЫ БЕЛЫХ ЗВЕЗД И ИСТОРИЯ ИХ НАПИСАНИЯ

Из типичных портретов остается посмотреть еще семейный портрет четы Сириуса. Каждый из членов этой звездной пары — характерный представитель белых звезд, встречающихся очень часто, но пара Сириуса поражает нас диспропорцией ее членов. Сириусу А природа навязала смехотворно мелкого

компаньона, тем не менее подражающего своему большому соседу по манере испускать спектр и горячиться, доходя до «белого каления».

В самом деле, спектры их почти одинаковы: A0 и A7, и спутник, будучи лишь на две тысячи градусов холоднее Сириуса A, нагретого до 10 000°, тоже белого цвета. Масса принципала в $2^1/_2$ раза больше солнечной, а у Сириуса B она почти равна солнечной массе (точнее, 0,96), т. е. массы двух этих звезд отличаются не так уж сильно. Но на этом сходство между компаньонами кончается...

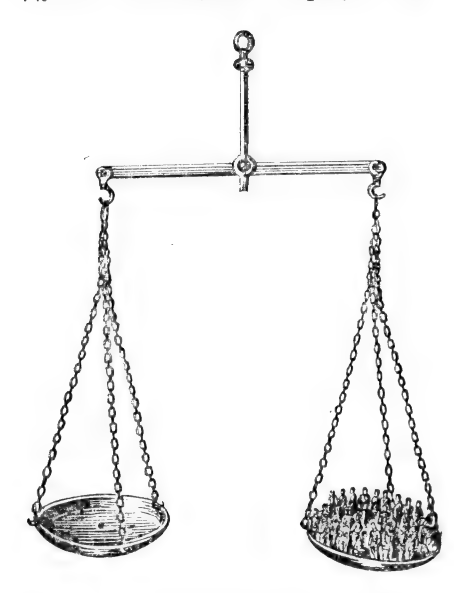


Рис. 147. Три спичечные коробки с веществом спутника Сириуса уравновешивают целый класс школьников.

Сириус A — давно знакомый нам типаж с диаметром почти вдвое большим солнечного, и с плотностью в $2^1/_2$ раза меньшей, чем у воды. Сириус A — звезда как звезда, а вот черты его спутника, светящегося в 10 000 раз слабее, кажутся просто невероятными, если бы подлинность портрета не была многократно и авторитетно заверена.

«Как ни верти», а приходится принять, исходя из совокупности всех данных, что он лишь втрое больше Земли (это бы еще куда ни шло) и что его средняя плотность в 30 000 раз больше плотности воды! Но если так, то для перевозки спичечной коробки, наполненной таким веществом, нужен грузовик! Ее вес уравновесил бы восемь взрослых человек, а наперсток с этим веществом весил бы 30 *кг*.

Кто этому поверит?! Не верили этому и астрономы, хотя не верить было нельзя, потому что все вычисления подтверждали друг друга. Физики на основе своих успехов в изучении атома заявили, что такая огромная плотность в условиях звездных недр осуществима. Для этого температура в недрах должна быть ниже чем у обычных звезд, а давление вышележащих слоев к центру очень велико. При этом атомы разрушаются и превращаются в смесь ядер и электронов, не связанных друг с другом. Размеры атомных ядер составляют всего лишь $10^{-13}$ *см*, а размеры полных атомов можно определить, как размеры орбиты их внешнего электрона,— не меньше $10^{-8}$ *см*, т. е. ядра в сто тысяч раз меньше атомов. Следовательно, пространство, занятое ядрами, гораздо меньше пространства, занятого атомами, и при достаточном давлении, которое существует в недрах звезд — белых карликов, они могут быть сближены друг с другом гораздо теснее. Искрошенные атомы теоретически можно упаковать еще теснее, чем это имеет место в спутнике Сириуса.

Обычные атомы с электронной оболочкой можно себе представить как электрические лампы с огромными бумажными абажурами, а искрошенные атомы— как такие же лампы, искрошенные в мелкие осколки и кусочки. Возьмите эти осколки и в ящике, где едва-едва умещалась одна лампа с абажуром, уместится великое множество ламповых остатков, так что ящик станет в тысячи раз тяжелее.

Спутник Сириуса, считавшийся вначале уродом звездного мира, объектом кунсткамеры, оказался типичным представителем довольно обширного племени звезд — *белых карликов*, которые трудно обнаружить лишь ввиду их общего слабого излучения. Мы их можем заметить лишь вблизи нас, как жука в поле, тогда как яркие звезды, как коровы, видны нам издалека и в большем числе, хотя жуков в поле больше, чем коров.

Говоря о Сириусе, нельзя не сказать об исключительной роли, сыгранной им в развитии человеческих знаний.

Сириус — песья звезда, бог с песьей головой древних египтян (Анубис) — управлял, по их мнению, разливами Нила, оплодотворявшего почву своим илом и своей влагой. Разлив Нила бывал летом (после выпадения дождей в горах Абиссинии); приближение его знаменовалось определенным положением Сириуса на небе. Сириус, или звезду Изиды, богини плодородия, называли еще Сопд, что греки произносили как Сотис. С появления Сириуса перед восходом Солнца в лучах утренней зари и сопутствующего ему разлива Нила египтяне начинали новый год.

Они взывали к Сириусу:

«Божественная Сотис вызывает Нил к началу года.

Сотис, великая, блистает в небе, и Нил выходит из его источников.

Божественная Сотис производит разлив Нила в его верховьях».

Такие надписи нашли высеченными на стене храма богини Хатор в Дендерах.

Учащиеся и поныне, быть может, сами того не зная, славят Сириуса и «песье время», т. е. каникулы, ибо так в Древнем Риме называется летний период, связанный с определенной видимостью на небе Сириуса, главной звезды в созвездии Большого Пса. По-латыни пес — «канис», откуда и произошло слово каникулы.

Сириус был первой звездой, собственное движение которой по небу заметил Галлей, сравнивая современные ему наблюдения положения звезды на небе с древними.

Почти $1^1/_2$ века назад на примере Сириуса была продемонстрирована сила человеческого гения, способного создать не только «астрономию видимого», но и «астрономию невидимого». Это — знаменитая история открытия спутника Сириуса.

В 1834 г., изучая собственное движение Сириуса, Бессель в Германии обнаружил, что он движется не по прямой (точнее, не по дуге большого круга), а описывает какую-то волнистую линию. Лишь через десять лет он заключил: волнистый путь Сириуса

вызван наличием у него невидимого спутника с периодом обращения в полустолетие. Центр тяжести системы движется в пространстве прямолинейно, как любая одиночная звезда, но оба тела описывают около него свои орбиты, так что сочетание орбитального движения с поступательным и делает видимый путь Сириуса подобным волнистой линии. Сириус и его невидимый спутник находятся всегда по разные стороны от их центра тяжести.

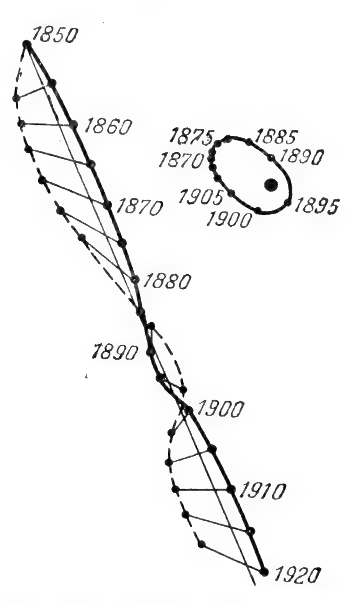


Рис. 148. Извилистый путь Сириуса по небу и орбита его спутника. Центр тяжести системы движется прямолинейно.

Предсказание блестяще подтвердилось только 31 января 1862 г. В этот вечер американский оптик Альван Кларк испытывал новый, построенный им 45-сантиметровый рефрактор. Это был наибольший тогда телескоп, обладавший прекрасными оптическими качествами. Наведя его на Сириус, он увидел возле него слабо светящегося спутника, как раз в том месте, которое для него указывала теория. Последующие наблюдения показали, что и период обращения спутника также совпал с периодом, предсказанным теорией. Таким образом, невидимое небесное тело, в существовании которого были убеждены и местоположение которого на каждый день знали, стало, наконец, видимым...

Спутник Сириуса не такой уже слабый,— он 7-й видимой звездной величины, но соседство ослепительной «песьей звезды» мешало его заметить раньше и затрудняло его изучение в дальнейшем. Поэтому только в 1916 г. удалось сфотографировать спектр

спутника и убедиться, что он похож на спектр своего яркого соседа. Предположение, что спутник светит отраженным светом, приводило к выводу о нелепо больших его размерах, а позднее выявилось и различие в спектрах этих двух звезд, что окончательно заставило признать спутник самосветящимся. И вот тогда-то с неизбежностью последовал вывод о чудовищно высокой его плотности, перед чем астрономы останавливались в недоумении. В 1920—1924 гг. английский физик Резерфорд постиг строение атомов, как сложных систем, состоящих из ядер и электронов, а индийский физик Саха создал теорию ионизации под действием высокой температуры, и то, что казалось совершенно необычайным, стало естественным.

К этому времени А. Эйнштейн разработал теорию относительности. Благодаря своей необычности новая теория была встречена сначала с недоверием. Эйнштейн же из своей теории сделал некоторые выводы, которые нельзя было проверить опытами в лабораториях и которые требовали проверки опытом буквально «в мировом масштабе» и требовали услуг астрономов.

В качестве подопытного кролика, или, если хотите, белой мыши, была взята белая крошка — спутник Сириуса. При малом объеме он имеет массу почти как у Солнца и представляет собой как раз то, что нужно для упомянутого опыта. Вследствие малости размеров Сириуса В сила тяжести на поверхности этой звезды в тысячу раз больше, чем на Солнце, и почти в 30 000 раз больше, чем на Земле. Маятник, делающий на Земле за секунду одно колебание, сделал бы их там около 140. «Сутки», т. е. 1440 минут по часам с таким маятником, мы бы прожили на белом карлике за 10 земных минут. По теории относительности в таких условиях световые колебания (вызванные колебаниями в атомах) должны происходить заметно ленивее (медленнее), чем у нас. Длина волны их должна быть больше, чем в нашей лаборатории, линии спектра спутника Сириуса, возникающие у его поверхности, должны быть сдвинуты к красному

концу спектра. Величина этого сдвига по вычислениям должна быть такая же, как если бы спутник Сириуса удалялся от нас со скоростью 20 *км* в секунду.

Но как проверить, что такой сдвиг именно по этой причине действительно есть? Ведь звезда в самом деле может удаляться от нас с такой скоростью, а мы соответствующий сдвиг линий примем за «красное смещение» теории относительности.

Спутник Сириуса, к счастью, как раз позволяет отличить друг от друга такие сдвиги. В самом деле, скорость по отношению к нам вследствие движения спутника по орбите может быть точно вычислена для любого момента. Движение центра тяжести системы Сириуса тоже хорошо известно из наблюдений спектра самого Сириуса. Он приближается к Солнцу на 8 *км* за каждую секунду. Если после учета обоих движений в спектре спутника все же останется сдвиг линий, то подлинное движение его будет тут уже не при чем. Получить для этой цели хорошую фотографию спектра спутника, находящегося в близком соседстве со звездой, в 10 000 раз более яркой, было трудным делом и требовало от наблюдателя не меньшей ловкости, чем для акробата хождение по канату. Оказалось, что в спектре спутника Сириуса действительно обнаруживается сдвиг линий и как раз такой, какой требуется теорией относительности. Теория, предсказавшая существование сдвига, была тем самым подтверждена и получила права гражданства...

К каким еще новым научным открытиям приведет дальнейшее изучение звезды Изиды и ее диковинного спутника?

О звездах-карликах и звездах-пигмеях, которые еще меньше, мы скажем в очерке «Соседи Солнца».

## АНАТОМИЯ ЗВЕЗДНЫХ АТМОСФЕР

Светлая далекая одинокая точка, на которой ничего не видно даже в сильнейший телескоп,— вот что такое звезда для обычного наблюдателя. Такова, например, и звездочка 3-й величины Дзета Возничего, одна из тех лампад, зажигаемых ангелами ввечеру,

за какие почитались звезды суеверными людьми в средние века. Много лет мы не видели в ней ничего особенного, но с 1932 г. она стала наиболее изученной звездой. С 1932 по 1934 г., за два года, астрономы, как хирурги, произвели как бы полное ее вскрытие

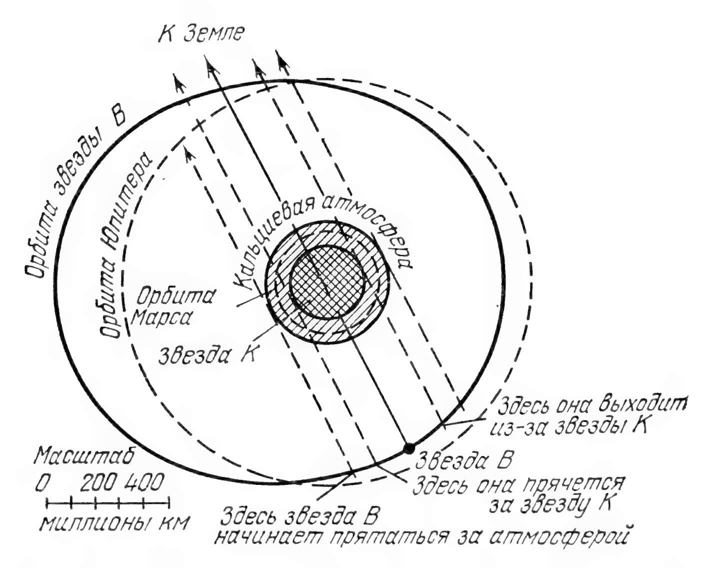



Рис. 149. Система двойной звезды ζ Возничего и затмения в ней.

или рассечение, изучив всю ее «анатомию», но вместо операционных ножей они воспользовались всем арсеналом приборов, анализирующих свет.

В 1908 г. Кэмпбелл в Ликской обсерватории доказал, что спектр Дзеты Возничего состоит из наложенных друг на друга двух спектров K3 и B8, принадлежащих двум разным, невидимым по отдельности звездам, составляющим Дзету Возничего. Только в 1924 г. был установлен период их взаимного обращения — 972 дня, почти 3 года. По совокупности имевшихся спектрограмм вычислили элементы орбиты и обратили внимание на то, что одна из спектрограмм сильно отличалась от всех прочих. Линии

спектра были на ней необычайно резки. Это объяснили тем, что в то время, когда был получен этот спектр, белая звезда со спектром В была в затмении — скрылась от нас за оранжево-красной звездой К. Отсюда заключили, что затмения должны происходить периодически, а Дзета Возничего, следовательно, является затменно-двойной звездой, меняющей свой блеск,— «дьявольской звездой» — алголем. Вычислили и даты предстоящих затмений звезды В: 1926, 1929 и 1932 г., предлагая проверить эти выводы наблюдениями.

На призыв сразу как-то не откликнулись, и только в 1932 г. две обсерватории к назначенному времени принялись за измерение ее блеска и фотографирование спектра.

Предсказание блестяще оправдалось, и обнаружился минимум блеска, длившийся «40 дней и 40 ночей». Кроме того, вокруг красной К-звезды обнаружилась обширная атмосфера, благодаря особенностям затмения доступная подробнейшему изучению, и потому в 1934 г. астрономы прямо-таки набросились на эту звезду. За ней охотились, как буржуазные репортеры за приезжей знаменитостью. Все же самый интересный период, пока затмение было частным, т. е. пока звезда В выглядывала частично («выглядывала» для нас невидимо!) из-за широкой спины своего толстого и раскрасневшегося хозяина, не удалось проследить достаточно подробно. Частное затмение длится только 19 часов, из которых многие протекают, когда звезда находится под горизонтом, другие же могут прийтись на дневное время или на пасмурную погоду. Полное же затмение длится, как сказано, 40 суток. Как это не похоже на солнечные затмения, когда Луна, кажущаяся того же размера, что и Солнце, в течение часов производит частное затмение и лишь на минуты, а иногда лишь на секунды затмевает Солнце совершенно!

Красная звезда Дзета Возничего больше Солнца в 293 раза, а белая — в четыре раза, так что спутник в 73 раза меньше главной звезды. Он — как ягодка белой смородины в сравнении с красной тыквой, и

потому, быстро спрятавшись за ней, долго не показывается.

Орбита спутника по отношению к главной звезде равна орбите Юпитера, причем красная звезда по диаметру почти равна орбите Марса и в 32 раза массивнее Солнца, спутник же массивнее Солнца в 13 раз. Его светимость при температуре 15 000° в 400 раз больше солнечной, а светимость красной звезды при температуре 3160° в 1900 раз больше. Вместе они в 2300 раз ярче Солнца. Подобно Бетельгейзе красная звезда имеет очень малую плотность, соответствующую плотности воздуха при давлении в 1 *мм* ртутного столба (вместо 760 *мм* нормального атмосферного давления).

Звезда K окружена обширной разреженной атмосферой, сквозь которую просвечивает звезда B, прежде чем спрятаться при затмении, а также перед тем как выглянуть после затмения. В масштабе рис. 149 звезду B надо было бы изобразить едва видимой пылинкой, в 0,2 *мм* диаметром, и понятно, что мы в течение 2—3 недель можем следить (по спектру), как она, заходя за звезду K, просвечивает через все более низкие и плотные слои красноватой атмосферы. Ее свет поглощается в этой атмосфере, отчего в спектре видны темные линии. Интенсивность последних увеличивается с ростом плотности и толщины слоев атмосферы звезды K, через которые проходит излучение звезды B. Следя за изменением интенсивности линий в спектре, можно было подсчитать число атомов разных химических элементов в столбе атмосферы на разной высоте над поверхностью звезды K. Таким путем атмосфера звезды была изучена как бы в разрезе, и чуть ли не лучше, чем атмосфера нашего Солнца, а между тем, повторяем, звезда эта видна нам только как световая точка.

Изменения блеска звезды в свете, воспринимаемом глазом, едва-едва заметны — всего лишь 0,2 звездной величины, отчего раньше, без точных измерений, переменность Дзеты Возничего и не была обнаружена. Оказалось, что чем дальше в фиолетовую область спектра, тем больше там изменение блеска. В невиди-

мых глазом ультрафиолетовых лучах с длиной волны 3780 Å изменение блеска звезды доходит до 2,14 звездной величины! Это объясняется тем, что вне затмений светят обе звезды, но ультрафиолетовыми лучами богата только горячая белая звезда, видимыми же лучами она заметно беднее, чем более холодная, но яркая для глаза красная звезда. Когда белая звезда в затмении, то видимых лучей из общего света звезды вычитается мало, а ультрафиолетовых много, отчего и изменение в их интенсивности более заметно.

Из наблюдений спектра перед затмением и после него обнаружилось вращение красной звезды вокруг своей оси с периодом 785 дней и в ту же сторону, в какую она обращается по своей орбите.

Выше всего над поверхностью звезды в ее атмосфере, как и в атмосфере Солнца, поднимается кальций. Он достигает высоты 233 млн. *км*, т. е. простирается над поверхностью звезды на расстояние, в полтора раза больше расстояния от Земли до Солнца!

Таковы «скромные» сведения, полученные нами о светлой точке, находящейся от нас на таком расстоянии, что свет пробегает его за 980 лет.

## ЗВЕЗДЫ-ВЕРТУШКИ

По рассказу писателя Горбунова, в стародавние времена одна из попыток популяризации учения о вращении Земли кончилась тем, что купеческий приказчик треснул своего просветителя по уху: «что, говорит, мы на вертушке живем, что ли?!».

И тем не менее земной шар продолжает вертеться, как он вертелся 2—3 миллиарда лет до этого, и как вертится с тех пор, хотя все медленнее и медленнее. С разной скоростью, так или иначе, вращаются и все соседи Земли — планеты, вращается, хотя и лениво в сравнении с ними, и само величавое Солнце.

Но вращаются ли звезды и как? Впервые с гениальным предвидением сказал о вращении звезд Фридрих Энгельс в своей «Диалектике природы»: «...вращение необходимо у всех парящих в мировом пространстве тел» (стр. 222, изд. 1948 г.).

Если вращение звезд должно быть, надо его обнаружить. Но как сделать это, если даже в сильнейшие телескопы звезда представляется светлой точкой и ее поверхности не видно?

Но нет такой «тайны природы», которую бы, вопреки идеалистам и агностикам, не раскрыл бы человеческий ум, сейчас или впоследствии.

Тайну вращения звезд он раскрыл уже сейчас. Этим открытием мы обязаны известному американскому астроному О. Струве и академику Г. А. Шайну (Советский Союз).

Свет, который мы получаем от звезды, приходит к нам от всех точек ее полушария, обращенного к Земле. И когда звезда вращается, один край ее приближается к нам, а другой удаляется (если только полюс вращения звезды не смотрит прямо на нас). Но тогда в спектре приближающегося края линии сместятся к фиолетовому концу, в спектре удаляющегося края — к красному концу, а в спектре центральной части диска останутся в нормальном положении.

При слиянии спектров всех этих точек диска звезды в один, нами наблюдаемый, мы увидим спектр, в котором сливающиеся и по-разному смещенные темные линии создадут как бы одиночные линии. Однако последние будут заметно шире и менее темны, чем в спектре такой же звезды, но вращающейся очень медленно.

Так, изучая форму линий в спектрах звезд, удалось установить вращение звезд вокруг своей оси. Не у всех звезд, конечно, оно достаточно быстро, чтобы его можно было заметить.

Быстрее всего, как оказалось, вращаются белые звезды. Это действительно какие-то вертушки. В то время как экватор нашего Солнца вращается со скоростью 2 *км/сек*, точки экватора этих звезд за секунду пробегают дугу длиною до 300 *км*, а в некоторых случаях и больше, до 500 *км*. Такие звезды-вертушки должны быть на пределе своей устойчивости. Как маховому колесу, завертевшемуся слишком быстро, такой звезде грозит разрушение. И действительно, мы увидим дальше, что по крайней мере

атмосфера таких звезд быстро рассеивается в пространство под действием центробежной силы, облегчающей отрыв и улетучивание частиц, которые, как мы видели, возможны даже на Солнце. Между тем Солнце вращается медленно, сила тяжести на нем больше, чем на белых звездах; температура Солнца (6000°) значительно ниже, чем у белых звезд (10 000°), а при такой температуре атомы движутся медленнее. Но описанные здесь звезды-вертушки бледнеют перед звездами-волчками — пульсарами (см. стр. 539).

## В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА

Если вы человек любознательный и поселились в незнакомом городе, то ваши соседи представят для вас некоторый интерес. Нет нужды, что вам известно все разнообразие образцов человечества — высокие и низенькие, толстые и худые, брюнеты и блондины, служащие и рабочие, мужчины и женщины, молчаливые и оживленные, угрюмые и веселые. Ваши соседи будут интересовать вас в двух отношениях. С одной стороны, они вас занимают именно как соседи, как среда, в которую вы попали, и, зная их, вы лучше определите свое собственное положение в окружающем вас мире. С другой стороны, возможно, что некоторые статистические сведения о ваших соседях дадут вам понятие о том, какие черты жителей города характерны, какой тип людей в нем преобладает, что здесь правило и что — исключение. Быть может, подъезжая к городу, вы обратили внимание на мальчишку, запускающего воздушного змея, но было бы неосторожно считать, что все население города состоит из мальчишек и предается тому же занятию.

Может случиться, что среди ваших соседей не окажется некоторых, более редких представителей населения, например того же мальчишки с пристрастием к воздушным змеям или циркового клоуна. Но эти обстоятельства можно будет учесть, и о проживании клоуна (может быть, на другом конце города) вы сможете узнать и издали (из расклеенных афиш).

С таких же точек зрения нас интересуют и звезды, окружающие Солнце,— ближайший к нам звездный мир. К сожалению, выявить соседей Солнца труднее, чем соседей по дому, и прежде всего потому, что их соседство, т. е. близость в пространстве, отнюдь не бросается в глаза.

Чтобы знать о близости звезды, надо путем тщательных и кропотливых измерений фотографий определить ее параллакс и убедиться в том, что он велик. Между тем как бы сравнительно велик он ни был, сам по себе он настолько мал, что пока вы его точно не измерите, он все равно будет столь же незаметен «на глаз», как и параллакс, равный нулю. Во множестве случаев мы не имеем несомненных признаков близости к нам звезд и не всегда можем успешно выбрать из них те, которые после измерений действительно окажутся близкими. Попробуйте взять наугад сотню звезд и определять подряд расстояние до каждой из них. После многих лет труда вы убедитесь в том, что ни одна из них не имеет права называться нашей соседкой, несколько звезд окажутся на измеримом, но большом расстоянии и для большей части параллаксы окажутся меньше той ошибки, которой вам не удастся избежать при измерениях.

Вначале, и это было естественно, наблюдатели обратили свое внимание на яркие звезды. Изучать их было легче всего, да и довольно естественно было вначале предположить, что те звезды, которые нам кажутся ярче всех, в среднем и ближе всего к нам. Их яркость это-де есть следствие их близости. Действительность показала, что это совсем не так.

Если мы возьмем 20 звезд ярче 1-й величины, то окажется, что их скорее надо уподобить не близким уличным фонарям, а далеким прожекторам. Их огромная светимость — вот что делает их наиболее яркими на небе и бросающимися в глаза, хотя эти звезды-прожекторы разбросаны в пространстве далеко от нас. В табличке на стр. 492 приведены данные об этих 20 ярчайших звездах нашего неба, включая и те четыре, которые невидимы в СССР и наблюдаются лишь в более южных широтах.

Среди них бросается в глаза разнообразие расстояний и светимостей. Ближайшая звезда, α Центавра, отстоит от нас на 4 световых года, а наиболее далекая — Ригель — на 540 световых лет, тогда как их видимая звездная величина одинакова. Между тем Ригель примерно в 23 000 раз ярче, чем α Центавра. Но наша соседка имеет светимость ту же, что и Солнце, и наименьшую в ряду наших 20 звезд. Значит, все 20 самых ярких звезд неба ярче Солнца, большинство в десятки и сотни раз, а Ригель даже в 23 000 раз. Линейные размеры их всех тоже гораздо больше размеров Солнца. Особенно велики красные сверхгиганты Антарес и Бетельгейзе, с диаметрами в сотни раз бóльшими солнечного.

Больше половины звезд списка принадлежит к наиболее горячим типам белых звезд классов В и А, которые в несколько раз горячее Солнца.

Если мы примем этот список звезд за типичный образчик звездного населения Вселенной, то в наших глазах Солнце не может снискать большого уважения. В самом деле, его сила света меньше, чем у всех, размеры меньше и даже температура ниже средней. Солнце — не звезда, а прямо какая-то «замухрышка», да еще хуже всех. Но будет ли такое заключение верным?

## СОСЕДИ СОЛНЦА

Мы должны будем изменить свое мнение о Солнце, если рассмотрим список ближайших звезд (стр. 494—495).

Под ближайшими будем понимать те, которые находятся внутри сферы радиусом 16 световых лет, описанной вокруг Солнца. Помимо Солнца, в этом объеме к настоящему времени обнаружено 47 звезд, так что это будет список полусотни ближайших звезд — наших соседок. Он даст нам понятие и о плотности звездного населения и о том, какие типы звезд преобладают. Ведь звезды с очень малой светимостью на больших расстояниях невидимы, но по соседству с нами мы можем рассчитывать их заметить. Тыкву

**Двадцать самых ярких звезд и Солнце (по Б. Боку)**

| № п/п | Название | Визуальная видимая звездная величина *) | Спектр | Абсолютная звездная величина **) | Светимость | Расстояние в световых годах |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Сириус | $-1{,}6_{д}$ | A0 | +1,3 | 23 | 8,7 |
| 2 | Канопус | —0,9 | F0 | —4,6: | 5 200: | 180: |
| 3 | α Центавра | $0{,}3_{г}$ | G0 | +4,7 | 1,0 | 4,29 |
| 4 | Вега | 0,1 | A0 | +0,5 | 48 | 26,5 |
| 5 | Капелла | $0{,}2_{г}$ | G0 | —0,5 | 120 | 45 |
| 6 | Арктур | 0,2 | K0 | 0,0 | 76 | 36 |
| 7 | Ригель | 0,3 | B8 | —6,2: | 23 000: | 650: |
| 8 | Процион | $0{,}5_{д}$ | F5 | +2,8 | 5,8 | 11,3 |
| 9 | Ахернар | 0,6 | B5 | —2,6: | 800: | 140: |
| 10 | β Центавра | 0,9 | B1 | —3,1: | 1 300: | 200: |
| 11 | Альтаир | 0,9 | A5 | +2,4 | 8,3 | 16,5 |
| 12 | Бетельгейзе | $(0{,}9)_{пер}$ | M2 | (—5,6:) | 13 000: | 650: |
| 13 | α Южного Креста | $1{,}4_{д}$ | B1 | —2,7: | 900: | 220: |
| 14 | Альдебаран | $1{,}1_{д}$ | K5 | —0,5 | 120 | 68 |
| 15 | Поллукс | 1,2 | K0 | +1,0 | 30 | 35 |
| 16 | Спика | 1,2 | B2 | —2,2: | 600: | 160: |
| 17 | Антарес | $1{,}2_{д}$ | M1 | —2,4: | 700: | 170: |
| 18 | Фомальгаут | 1,3 | A3 | +2,1 | 11 | 23 |
| 19 | Денеб | 1,3 | A2 | —4,8: | 6 000: | 540: |
| 20 | Регул | $1{,}3_{г}$ | B8 | —0,7 | 140 | 84 |
| 21 | Солнце | —26,72 | G2 | +4,8 | 1 | — |

*) «д» — двойная, «т» — тройная, «пер» — переменная.

**) Двоеточие указывает на неуверенность в приводимых данных из-за трудности определения точного значения параллакса далеких звезд.

Более подробная и более точная таблица дана в книге «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского, изд. 4-е, «Наука», 1971, то же касается и следующей таблицы. Данные о звездах все время уточняются. Некоторые расхождения в числах происходят иногда от того, что один составитель больше доверяет одним данным, другой — другим.

в огороде вы ведь заметите и издалека, а маленький огурец не всегда увидите и под ногами.

За последнее время вылавливанию близких звезд из всего множества их помогло следующее соображение. Ввиду чудовищного разнообразия в светимости звезд их видимый блеск является ненадежным признаком их расстояния, в то время как видимое угловое перемещение их на небе дает более верное указание на степень их близости. Скорости звезд в пространстве тоже весьма разнообразны, но естественно ожидать, что, в общем, чем больше смещается за год по небесной сфере звезда, тем она к нам ближе, потому что при одинаковом движении в пространстве видимое угловое перемещение растет с уменьшением расстояния.

Практика показала, что, пользуясь этим признаком, мы действительно вылавливаем много близких к нам звезд.

В предыдущей таблице значились звезды с собственными названиями, в этом же списке фигурируют по преимуществу безымянные звезды, обозначаемые лишь номером того каталога, в котором они содержатся. Например, «Лакайль 9352» означает звезду № 9352 по каталогу, составленному Лакайлем.

Звезды с одинаковым обозначением, но с добавлением букв A, B или C, являются компонентами двойных и тройных звездных систем. Не трудитесь разобраться как следует в этих обозначениях с целью, положим, найти потом эти звезды на небе. Среди них только четыре звезды около 1-й звездной величины: Сириус, Альтаир, Процион и $\alpha$ Центавра. Еще шесть кое-как видны невооруженным глазом и то лишь в безлунную ночь. Все же остальные звезды списка видны только в телескоп.

Таким образом, из двух десятков наиболее ярких звезд четыре (20 %) оказываются ближайшими, а из 2 000 000 звезд от 9-й до 12-й видимой звездной величины ближайшими являются только 20, или 0,001 %! Эти звезды малого блеска составляют большинство среди близких звезд, а так как таких слабых звезд

**Соседи Солнца** (по Б. Боку)

| № п/п | Название | Визуальная видимая звездная величина | Спектр | Абсолютная звездная величина | Светимость | Расстояние в световых годах |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Солнце | —26,7 | G2 | 4,8 | 1,0 | — |
| 2 | α Центавра A | 0,3 | G0 | 4,7 | 1,0 | 4,3 |
| 3 | α Центавра B | 1,7 | K5 | 6,1 | 0,28 | 4,3 |
| 4 | α Центавра C | 11 | M5e | 15,4 | 0,000052 | 4,3 |
| 5 | Звезда Барнарда | 9,5 | M5 | 13,2 | 0,00040 | 6,0 |
| 6 | Вольф 359 | 13,5 | M6e | 16,6 | 0,000017 | 7,7 |
| 7 | Люйтен 726-8 A | 12,5 | M6e | 15,6 | 0,00004 | 7,9 |
| 8 | Люйтен 726-8 B | 13,0 | M6e | 16,1 | 0,00003 | 7,9 |
| 9 | Лаланд 21185 | 7,5 | M2 | 10,5 | 0,0048 | 8,2 |
| 10 | Сириус A | —1,6 | A0 | 1,3 | 23 | 8,7 |
| 11 | Сириус B | 7,1 | Белый карлик | 10,0 | 0,008 | 8,7 |
| 12 | Росс 154 | 10,6 | M5e | 13,3 | 0,00036 | 9,3 |
| 13 | Росс 248 | 12,2 | M6e | 14,7 | 0,00010 | 10,3 |
| 14 | ε Эридана | 3,8 | K2 | 6,2 | 0,25 | 10,8 |
| 15 | Росс 128 | 11,1 | M5 | 13,5 | 0,00030 | 10,9 |
| 16 | 61 Лебедя A | 5,6 | K6 | 7,9 | 0,052 | 11,1 |
| 17 | 61 Лебедя B | 6,3 | M0 | 8,6 | 0,028 | 11,1 |
| 18 | Люйтен 789-6 | 12,2 | M6 | 14,5 | 0,00012 | 11,2 |
| 19 | Процион A | 0,5 | F5 | 2,8 | 5,8 | 11,3 |
| 20 | Процион B | 10,8 | Белый карлик | 13,1 | 0,00044 | 11,3 |
| 21 | ε Индейца | 4,7 | K5 | 7,0 | 0,12 | 11,4 |
| 22 | Σ 2398 A | 8,9 | M4 | 11,1 | 0,0028 | 11,6 |
| 23 | Σ 2398 B | 9,7 | M4 | 11,9 | 0,0013 | 11,6 |
| 24 | Грумбридж 34 A | 8,1 | M2e | 10,3 | 0,0058 | 11,7 |
| 25 | Грумбридж 34 B | 10,9 | M4e | 13,1 | 0,00044 | 11,7 |
| 26 | τ Кита | 3,6 | G4 | 5,8 | 0,36 | 11,8 |
| 27 | Лакайль 9352 | 7,2 | M2 | 9,4 | 0,013 | 11,9 |
| 28 | BD +5° 1668 | 10,1 | M4 | 12,2 | 0,0010 | 12,4 |
| 29 | Лакайль 8760 | 6,6 | M1 | 8,6 | 0,028 | 12,8 |

*Продолжение*

| № п/п | Название | Визуальная видимая звездная величина | Спектр | Абсолютная звездная величина | Светимость | Расстояние в световых годах |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Звезда Каптейна | 9,2 | M0 | 11,2 | 0,0025 | 13,0 |
| 31 | Крюгер 60 A | 9,9 | M4 | 11,9 | 0,0013 | 13,1 |
| 32 | Крюгер 60 B | 11,4 | M5e | 13,4 | 0,00033 | 13,1 |
| 33 | Росс 614 A | 10,9 | M5e | 12,9 | 0,00052 | 13,1 |
| 34 | Росс 614 B | 14,8 | — | 16,8 | 0,000014 | 13,1 |
| 35 | BD—12°4523 | 10,0 | M5 | 11,9 | 0,0013 | 13,4 |
| 36 | Звезда Ван Маанена | 12,3 | Белый карлик | 14,2 | 0,00016 | 13,8 |
| 37 | Вольф 424 A | 12,6 | M6e | 14,3 | 0,00014 | 14,6 |
| 38 | Вольф 424 B | 12,6 | M6e | 14,3 | 0,00014 | 14,6 |
| 39 | Грумбридж 1618 | 6,8 | K5 | 8,5 | 0,030 | 14,7 |
| 40 | CD—37°15492 | 8,6 | M3 | 10,3 | 0,0058 | 14,9 |
| 41 | CD—46°11540 | 9,7 | M4 | 11,3 | 0,0023 | 15,3 |
| 42 | BD+20°2465 | 9,5 | M4e | 11,1 | 0,0028 | 15,4 |
| 43 | CD—44°11909 | 11,2 | M5 | 12,8 | 0,00058 | 15,6 |
| 44 | CD—49°13515 | 9 | M3 | 10,6 | 0,0044 | 15,6 |
| 45 | AOe 17415-6 | 9,1 | M3 | 10,7 | 0,0040 | 15,8 |
| 46 | Росс 780 | 10,2 | M5 | 11,8 | 0,0014 | 15,8 |
| 47 | Лаланд 25372 | 8,6 | M2 | 10,2 | 0,0063 | 15,9 |
| 48 | CC 658 | 11 | Белый карлик | 12,5 | 0,0008 | 16,0 |
| 49 | $o^2$ Эридана A | 4,5 | K0 | 6,0 | 0,30 | 16,3 |
| 50 | $o^2$ Эридана B | 9,2 | Белый карлик A | 10,7 | 0,0040 | 16,3 |
| 51 | $o^2$ Эридана C | 11,0 | M5e | 12,5 | 0,0008 | 16,3 |
| 52 | 70 Змееносца A | 4,2 | K1 | 5,7 | 0,40 | 16,4 |
| 53 | 70 Змееносца B | 5,9 | K5 | 7,4 | 0,083 | 16,4 |
| 54 | Альтаир | 0,9 | A5 | 2,4 | 8,3 | 16,5 |
| 55 | BD+43°4305 | 10,2 | M5e | 11,7 | 0,0016 | 16,5 |
| 56 | AC 79°3888 | 11,0 | M4 | 12,5 | 0,0008 | 16,6 |

вообще на небе чрезвычайно много, то неудивительно, что надо было затратить много времени, чтобы выловить их из этой гущи. Около половины их выловлено за последние тридцать лет.

На рис. 150 изображено распределение абсолютных величин и спектральных классов ближайших

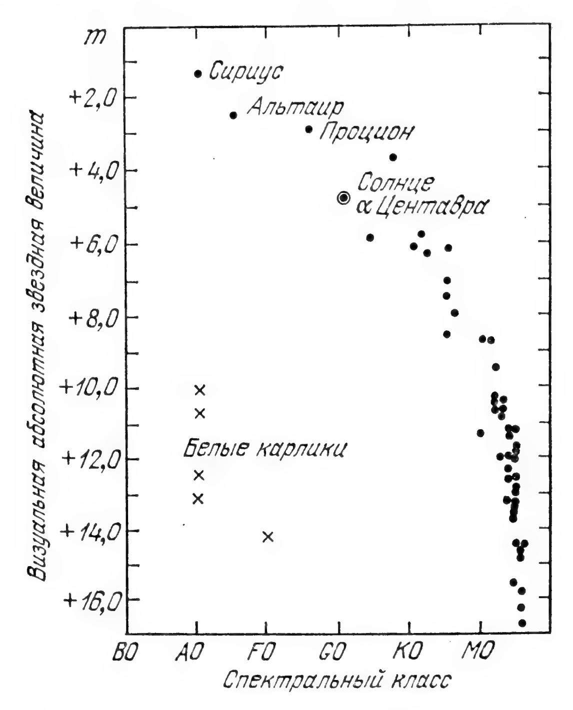



Рис. 150. Ближайшие к Солнцу звезды, расположенные согласно их абсолютной величине и спектральному классу. Это диаграмма «спектр — светимость».

звезд. Это диаграмма «спектр — светимость». На ней все звезды располагаются примерно вдоль диагонали. Это — крайне любопытный факт, значение которого мы скоро выясним.

Обратим внимание на то, что 12 звездных систем нашего списка кратные (10 двойных и 2 тройные).

Одиночество среди звезд не столь распространено, как думали после первых открытий двойных звезд. Далеко не все звезды живут бобылями, как наше Солнце (если, конечно, не иметь в виду планеты). Новейшие открытия прибавляют к списку соседей Солнца только звезды малой светимости. Мы похожи на рыбаков, выудивших сначала крупную рыбу и принявшихся затем за мелочь. Однако прибавление с течением времени новых звезд к нашему графику убеждает нас в том, что внутри принятых границ пространства мы уже выловили не меньше половины всех существующих там звезд. Если бы в этой области было еще много не открытых звезд, то их существование сказалось бы на скоростях движения тех звезд, которые мы уже знаем.

Итак, на рассматриваемой нами звездной «жилплощади», вернее, в данной кубатуре, еще не все жильцы учтены, но большинство (во всяком случае не меньше половины) их налицо, и пора сделать выводы о том, в какой же компании находится наше Солнце, какова характерная проба, взятая из этого звездного винегрета, данные о котором мы заимствуем здесь у астронома Бока.

Среди наших соседей нет наиболее горячих звезд класса B, и вообще звезды горячее Солнца составляют уже меньшинство, в противоположность тому, что давал первый список.

Быть может, еще характернее отсутствие здесь гигантов, а тем более сверхгигантов, как с точки зрения светимости, так и размеров. Самыми рядовыми и частыми жильцами в нашей кубатуре являются красные карлики, более холодные и маленькие, чем Солнце, с гораздо более низкой светимостью. Они составляют половину звездного населения.

Белые карлики, подобные спутнику Сириуса, вовсе не исключительные уродцы, как думали было вначале. Уже в нашем небольшом объеме, совсем рядом с Солнцем, мы обнаружили троих и, — смотрите сами, — они присутствуют в равном числе с «нормальными» белыми звездами, такими, как Сириус и Процион.

Если еще учесть трудность открытия белых карликов, то надо думать, что среди не открытых еще соседей, кроме красных карликов, можно рассчитывать найти также и белые карлики. Например, до 1935 г. было известно всего лишь три белых карлика (все вблизи Солнца), а уже на следующий год их попалось при определении параллаксов еще восемь штук, все более далекие. Самый яркий по видимому блеску — это спутник Сириуса 7-й звездной величины, многие же другие — около 12-й звездной величины и слабее.

В настоящее время астроном Лейтен отнес к белым карликам уже около 250 звезд. Есть основания предполагать, что белые карлики составляют около 1% от общего числа звезд в единице объема. В 1963 г. Лейтен открыл белые звезды — пигмеи. Самым малым из известных белых и голубых пигмеев является, по-видимому, горячая звезда LP 768-500 в Ките. Она имеет блеск $18^m,2$. Собственное движение ее огромно: $1'',18$ в год, следовательно, звезда должна быть довольно близка к нам. Если принять расстояние до нее в 48 световых лет, то она будет в 100 000 раз слабее и в 160 раз меньше, чем белые карлики типа спутника Сириуса. Ее диаметр будет в 100 раз меньше солнечного, т. е. такой же как у Земли! В ее спектре не видно никаких линий.

Для белого пигмея LP 357-186 Лейтен допускал даже размер вдвое меньший, чем размер нашей Луны и плотность порядка 200 млн. *г/см*³. Впрочем, незнание точного расстояния дает только порядок всех этих величин.

Особенно интересно открытие пары пигмеев LP 101-15/16 $15^m,8$ с годичным движением $1''$, 62. Один член пары — белый пигмей, а другой — красный, холодный, причем половину из многочисленных линий в его спектре отождествить пока еще не удалось. Этот спектр предстоит изучать дальше.

Теоретические соображения В. А. Амбарцумяна, Цвикки и других приводят к выводу о возможности существования звезд, состоящих из нейтронов или из тяжелых элементарных частиц — гиперонов. Не

имея электрического заряда, такие частицы могут быть сближены гораздо сильнее, чем ядра и электроны в белых карликах. В результате такие звезды могут иметь диаметр всего лишь в несколько километров и совершенно фантастическую плотность — порядка плотности атомных ядер и даже бо́льшую (около $10^{15}$ *г/см*$^3$).

Нейтронные звезды должны, по теории, излучать интенсивные рентгеновские лучи. Хотя в пространстве с высотных ракет такие лучи и обнаружены недавно, но их источником оказываются, по-видимому, не нейтронные звезды, а некоторые другие небесные тела. Словом, существуют ли реально названные выше виды сверхплотных звезд, допускаемых теорией, пока не известно.

Наконец, в теории относительности допускается существование очень массивных тел такой большой плотности, достигнутой вследствие катастрофического спадения (коллапса), что излучение из них не выходит наружу. Такое горячее, представляющееся фантастическим небесное тело нельзя собственно и называть звездой, так как оно совсем не светится. Обнаружить его существование можно было бы только по производимому им притяжению других тел. Подробнее об этом будет сказано в последнем разделе гл. 8.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТИМОСТЕЙ ЗВЕЗД

Рис. 150 уже показал нам, что в окрестностях Солнца, где звездное население может считаться изученным наиболее полно, слабых звезд, имеющих малую светимость и излучающих мало света,— большинство. Однако для решения целого ряда вопросов чрезвычайно важно знать точное распределение звезд по их светимости. Светимость звезд растет с их массой, но гораздо медленнее, чем масса.

Для выяснения этих вопросов надо объединить должным образом результаты изучения ярких звезд с результатами изучения ближайших звезд. Иначе, ограничиваясь только первыми данными, мы не учтем существования карликов, а внутри сферы радиусом

16 световых лет мы не имеем ни одного гиганта. Если бы мы увеличили радиус сферы с шестнадцати, скажем, до ста шестидесяти световых лет, чтобы внутри оказалось достаточное число гигантов (тогда их число в единице объема можно было бы уверенно оценить), мы бы «потеряли» много карликов. Чем больший объем пространства вокруг себя мы возьмем, тем больший процент существующих в нем карликов останется для нас пока не известным, так что к истине можно приблизиться, лишь комбинируя упомянутые два способа подсчета звезд.

До 14—15-й абсолютной звездной величины наши данные надежны, число же более слабых звезд приходится лишь угадывать, но в общем оно, несомненно, уменьшается, как показывает рис. 151, представляющий так называемую «кривую светимости».

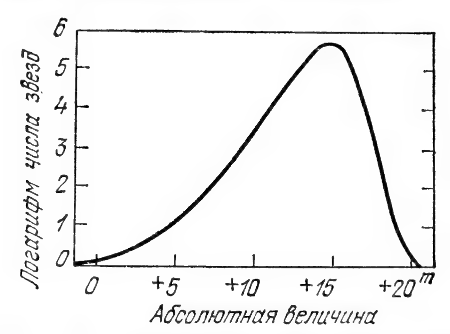



Рис. 151. Число звезд в зависимости от их абсолютной величины.

Эта кривая, построенная П. П. Паренаго, дает число звезд соответствующей абсолютной звездной величины в объеме 30 миллионов кубических световых лет. Другими словами, вблизи нас на одну звезду в среднем приходится объем в 357 кубических световых лет, и среднее расстояние от звезды до звезды составляет около $9^1/_2$ световых лет.

На кривой светимости звезды представлены вне зависимости от их спектрального класса и цвета. Сверхгиганты же и даже гиганты звездного мира среди звездного населения встречаются не чаще, чем

среди людей профессиональные клоуны или люди выше 2 *м* ростом. Большинство составляют карлики 14—15-й абсолютной звездной величины, светимость которых всего лишь 0,01 светимости Солнца. Число более слабых звезд, несомненно, убывает, и довольно быстро, хотя непосредственно звезд слабее, чем 18-й абсолютной звездной величины, мы пока и не знаем.

Если бы было очень много темных звезд, то наблюдаемые нами движения светлых звезд были бы в значительной мере иными, чем они есть в действительности. Таким образом, эти косвенные соображения не позволяют думать, чтобы среди тел с массами порядка массы Солнца только малая часть была достаточно накалена и светилась в виде звезд. Темные звезды могут существовать, но число их, несомненно, меньше числа звезд светящихся.

## ПЕРЕПИСЬ ЗВЕЗДНОГО НАСЕЛЕНИЯ НА ДИАГРАММЕ СВЕТИМОСТЕЙ — СПЕКТРОВ

Объем пространства вокруг Солнца, который можно считать достаточно полно изученным, слишком мал и не содержит всех представителей звездного населения. В нем нет, например, ни одного гиганта. Он не дает полной характеристики звездного населения вообще, как население вашей квартиры, не включающее клоуна, не отвечает полностью всему разнообразию профессий населения большого города. Поэтому, стремясь к полноте типов, но не стремясь обязательно узнать число всех их представителей, мы рассмотрим всю совокупность звезд, для которых известны их светимости (или соответствующие им абсолютные звездные величины) и их спектры (или соответствующие им температуры и цвета).

Рис. 150 есть как раз такая диаграмма, составленная лишь для ближайших звезд.

Составляя диаграмму для нескольких тысяч звезд, мы убеждаемся, что они не заполняют беспорядочно всю ее площадь, а группируются внутри довольно узких полос (рис. 152).

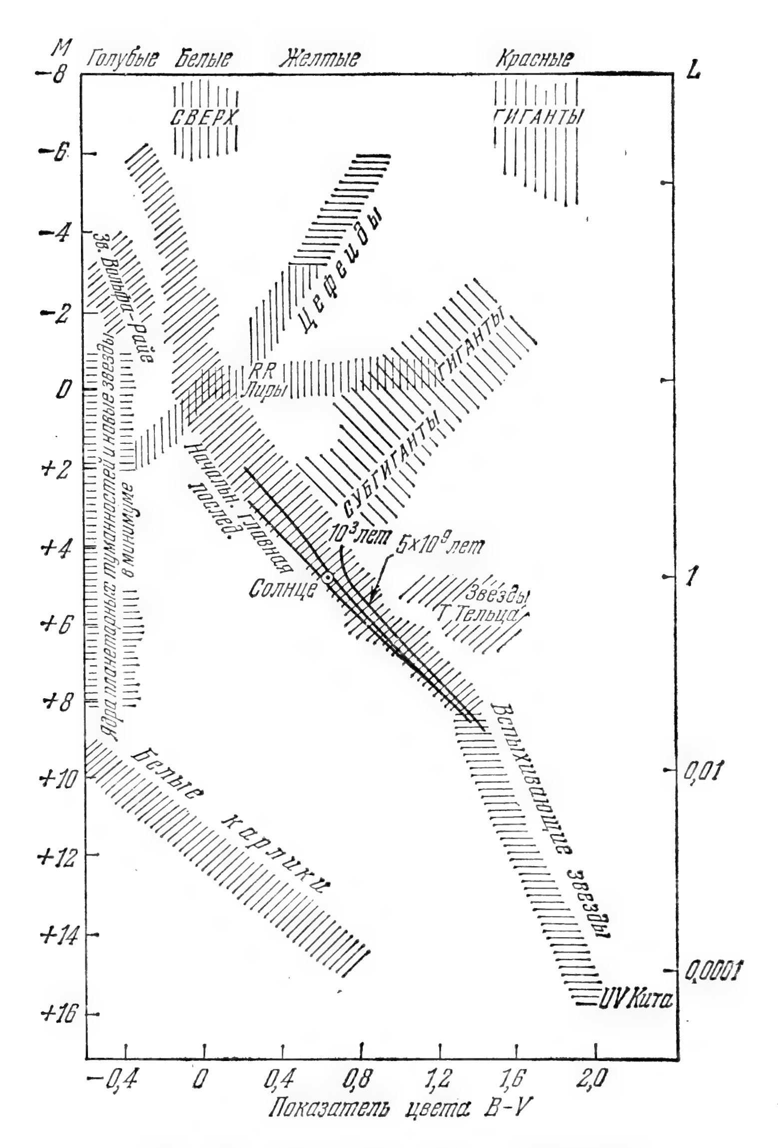


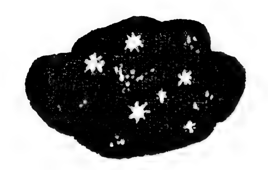

Рис. 152. Диаграмма спектр — светимость.

Диаграмма показывает нам чрезвычайно интересный и важный факт, обнаруженный впервые Герцшпрунгом (Дания) и Ресселом (США). Природа не допускает существования любых звезд, какие только может представить наша фантазия. Например, звезд со светимостью, равной светимости нашего Солнца, но красного цвета (спектральных классов K и M) не существует. Обнаружены звезды, так называемые *субкарлики*, светимость которых еще несколько ниже, чем светимость звезд-карликов того же спектрального класса, лежащих на главной ветви. Проф. П. П. Паренаго подчеркнул, что они образуют ветвь, параллельную главной ветви, и находил, что они, может быть, даже многочисленнее, чем обычные звезды, известные до сих пор. Открыты также *субгиганты*, находящиеся по своей светимости между карликами и гигантами и более близкие к последним. Если оставить в стороне белые карлики, то белые звезды, как мы видим, имеют лишь вполне определенную светимость и весьма высокую. Между тем желтые и красные звезды встречаются лишь либо как карлики, либо как гиганты, и чем холоднее (краснее) звезды, тем больше различие в светимости между карликами и гигантами. На рис. 150 мы видели, что в ближайших окрестностях Солнца представлена только наклонная ветвь диаграммы. Она называется *главной последовательностью*, так как к ней принадлежит подавляющее большинство звезд нашей звездной системы. Сравнительно малая доля звезд укладывается на ветвь гигантов, идущую на диаграмме горизонтально, и на лежащую так же, но несколько выше, последовательность сверхгигантов. Наше Солнце является звездой главной ветви, желтой, спектрального класса G2 и с нормальной светимостью для звезд этого типа.

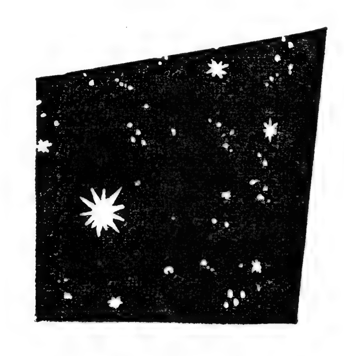
Диаграмма, во-первых, показывает, что в природе встречаются звезды только с определенными соотношениями светимости и температуры. При других соотношениях звезды, очевидно, неустойчивы, если и существуют,— оттого мы их и не находим во Вселенной.

Во-вторых, диаграмма показывает, какой абсолютной звездной величине в среднем соответствует звезда главной ветви или гигант данного спектрального класса, какова, скажем, абсолютная величина гиганта со спектром K5 и т. д. Словом, если только знать, к какой ветви диаграммы принадлежит звезда и каков ее спектральный класс, мы можем по этой диаграмме отсчитать соответствующую ей абсолютную звездную величину. Развитие науки показало, что в звездных системах различной структуры и разного возраста вид диаграммы Герцшпрунга — Рессела весьма различен.

Приведенная диаграмма Герцшпрунга — Рессела, эта перепись физических характеристик звездного населения, служит нам постоянным справочником.



ГЛАВА 8



# ПУЛЬСАЦИЯ И ВЗРЫВЫ ЗВЕЗД

## МАЯКИ ВСЕЛЕННОЙ — ЦЕФЕИДЫ

Периодические изменения блеска наблюдаются не только у алголей, но и у других звезд, называемых *переменными*. Среди них особенно упорно сопротивлялись попыткам разгадать их природу *цефеиды*, названные так по типичной своей представительнице δ Цефея. Строго периодически, с периодом в 5 дней 10 часов 48 минут, ее блеск сначала увеличивается на 0,75 звездной величины, а затем более медленно ослабевает. Выяснилось также, что по мере приближения к максимуму блеска спектр звезды становится все более ранним, температура все выше, цвет все белее. У самой δ Цефея спектр меняется в пределах целого класса, температура — в пределах 800°.

Ясно, что изменения блеска цефеид вызваны не геометрическими причинами, как, например, затмениями одной звезды другою, а физическими причинами. Физические характеристики самой звезды действительно периодически меняются, отчего меняется и излучение ею энергии, в том числе световой. Параллельно с изменением блеска происходит и периодическое колебание лучевой скорости цефеид, что было впервые подмечено А. А. Белопольским. Изменения блеска их невелики и не превосходят полутора звездных величин.

Все эти изменения удовлетворительно объясняются, если рассматривать цефеиды как пульсирующие

звезды, на что впервые указывал еще известный русский физик Н. А. Умов и что потом развили в теорию Шепли (США), Эддингтон (Англия) и особенно подробно С. А. Жевакин в СССР. Как надувные мячики из тонкой резины, они то увеличиваются в размере, то уменьшаются. Движение их поверхности при этой пульсации то к нам, то от нас и создает колебания лучевой скорости. Однако температура звезды при сжатии в соответствии с законами физики повышается, отчего спектральный класс становится более ранним, и общий блеск звезды все-таки повышается, несмотря на ее уменьшившуюся поверхность.

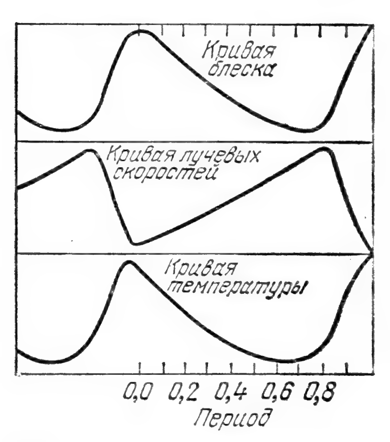



Рис. 153. Кривые изменения блеска, лучевых скоростей поверхностных слоев и их температуры у звезды δ Цефея.

Вероятно, цефеиды — это неустойчивые звезды, у которых однажды случившийся в них толчок за счет внутренних сил вызывает колебания, подобные колебаниям маятника. С течением времени возникшие в звезде пульсации должны ослабеть и затухнуть. Никто, однако, не ожидал, что это вскоре будет наблюдаться. Первый, и пока единственный раз постепенное прекращение переменности блеска всего лишь за четыре года было замечено недавно. Цефеида RU Жирафа, обнаруженная в 1899 г., изменяла свой блеск на целую звездную величину с периодом около 22 суток, начиная с 1899 г., когда ее обнаружили. К 1966 г. ее переменность почти полностью прекратилась.

Периоды разных цефеид заключены в пределах от $1^1/_2$ часов до 45 суток, причем после периода короче одних суток сразу происходит скачок к периодам более двух суток.

Все цефеиды — звезды-гиганты большой светимости, но у них наблюдается замечательное соотношение: *чем больше период изменения блеска цефеиды, тем ее светимость больше*. Это замечательное откры-

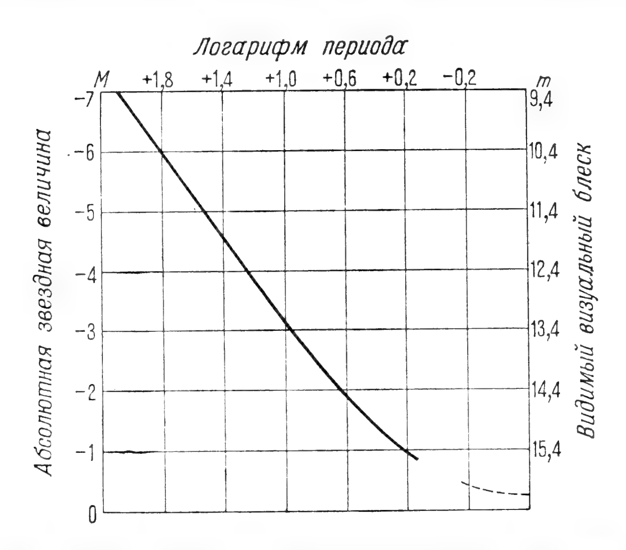



Рис. 154. Кривая «период — абсолютная величина» для цефеид, построенная американским астрономом Шепли в 1919 г.

тие сделала мисс Ливитт в Гарвардской обсерватории.

Связь между логарифмом периода, измеряемого в сутках, и абсолютной звездной величиной представлена на рис. 154.

Такое свойство делает цефеиды своего рода маяками Вселенной. Обладая большой светимостью, они видны на огромных расстояниях от нас и, зная из наблюдений их период и видимый блеск, эти расстояния легко подсчитать. Цефеиды благодаря отмеченному их свойству очень помогают нам не только при исследовании размеров, формы и строения нашей звездной системы, но и при изучении других звездных систем.

## ДРУГИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ И ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ

Кроме цефеид, накопилось много других звезд, зачисленных в разряд физических переменных. У всех них, кроме блеска, меняется так или иначе спектр, что и указывает на изменение физических свойств этих звезд. Однако у одних, как и у цефеид, блеск меняется периодически, хотя и не так правильно,

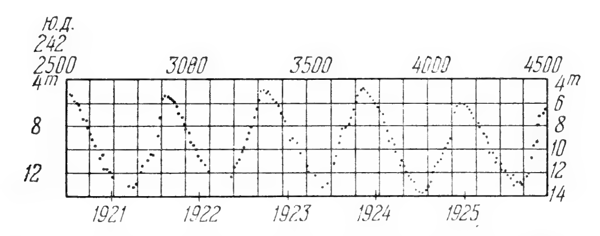



**Рис. 155. Кривая изменения блеска долгопериодической переменной звезды $\chi$ Лебедя. На этом и на следующих рисунках на горизонтальной оси отложено число дней, отсчитываемых от определенного момента (так называемые «юлианские дни»).**

у других же изменения блеска полуправильны или даже совершенно неправильны.

Наиболее интересную группу представляют долгопериодические переменные звезды. Их периоды больше 100 дней, но не более 700 дней. От максимума до максимума у них проходит не всегда одно и то же число дней, несколько меняется и форма кривой блеска и блеск в максимуме. Изменение блеска почти у всех них составляет несколько звездных величин, т. е. громадное; блеск меняется иногда в несколько тысяч раз. Их называют иногда *миридами*, по имени — Мира (Удивительная), которое дали звезде о Кита. В наибольшем блеске эта звезда хорошо видна глазом, будучи 3—4-й, а иногда даже 2-й величины. Примерно через каждые 330 дней она достигает минимума, 9-й звездной величины, когда ее видно лишь в телескоп. От максимума до максимума иногда проходит и меньше времени, до 320 дней, а иногда и больше — до 370 дней.

Как и у цефеид, изменения блеска мирид сопровождаются изменениями температуры и спектра, в котором, кроме темных линий, по временам появляются яркие линии водорода и другие линии. Все мириды — звезды-гиганты спектрального класса М, холодные, красные, большие и разреженные. У них

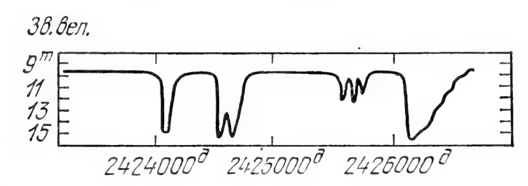



Рис. 156. Кривая изменения блеска неправильной переменной звезды.

также наблюдается периодическое колебание лучевой скорости, но максимум блеска соответствует моменту наибольшего удаления от нас. По-видимому, причина изменения блеска мирид вызвана, как и у цефеид, пульсацией, но менее правильной и осложненной как колебаниями прозрачности их атмосфер, так и периодическими извержениями горячих газов из недр звезды на поверхность, на что указывает появление ярких линий в спектре.

Остальные физические переменные звезды чаще всего также являются красными гигантами и даже сверхгигантами с неправильными, непериодическими колебаниями блеска. Несмотря на эту неправильность, их можно разбить на ряд групп, в зависимости от характера этой неправильности.

У одних звезд все время происходят мелкие неправильные колебания блеска. У других он долгое время почти не меняется и лишь иногда, неожиданно, но ненадолго ослабевает. У третьих время от времени бывают неправильные вспышки. Есть звезды, у которых по временам, иногда надолго, появляется какое-то подобие периодичности. Причины всех этих колебаний блеска нам пока еще не вполне ясны. Из этих своего рода «больных» и «припадочных» звезд выберем для рассмотрения сравнительно недавно открытые

звезды типа Т Тельца (иначе — RU Возничего) и вспыхивающие звезды. За последнее время они привлекали к себе особое внимание.

Первые из них являются неправильными переменными звездами, но не красными гигантами, а звездами умеренной или небольшой светимости и преимущественно спектральных классов F — G. Колебания их блеска порядка 1—2 зв. величин сопровождаются колебаниями яркости широких линий, наблюдаемых в их спектрах наряду с линиями поглощения. Вид этих ярких линий свидетельствует об истечении газов с поверхности таких звезд. Кроме того, в их спектрах по временам появляется «непрерывная эмиссия» — излучение в непрерывном спектре, маскирующее отчасти линии поглощения и, по-видимому, имеющее нетепловую природу. Непрерывная эмиссия вызывается еще не известными нам процессами.

Звезды типа Т Тельца встречаются в виде немногочисленных, широко рассеянных групп, открытых В. А. Амбарцумяном и названных им Т-ассоциациями. Многие из них открыты в области обширных облаков разреженного газа и пыли, называемых диффузными туманностями. Эти звезды считаются одними из наиболее молодых, быть может, возникающими путем сгущения отдельных участков названных туманностей. Некоторые из звезд типа Т Тельца окружены «собственными» крохотными газовыми или газопылевыми туманностями, что подтверждает это предположение.

К звездам типа Т Тельца, по-видимому, примыкают по своей природе «объекты Хербига — Аро». Два названных ученых открыли в области темных пылевых туманностей крайне слабые звездочки, окруженные крохотными туманностями. Их спектры с яркими линиями сходны со спектрами звезд типа Т Тельца и имеют, кроме того, линии крайне разреженных газов. Их блеск меняется неправильно, но светимость гораздо ниже, чем светимость звезд типа Т Тельца. Некоторые из таких объектов Хербиг открыл на месте, где прежние снимки ничего не показывали, как будто они возникли впервые за срок всего

лишь в несколько лет. Полной уверенности в этом еще нет, так как самый первый снимок этих мест был сделан сравнительно незадолго до их открытия. Быть может, еще раньше эти объекты тоже были бы видны, а во время первого снимка имели лишь временное ослабление блеска. Возможно, что объекты Хербига — Аро — это начальная стадия возникновения из диффузной материи звезд типа T Тельца путем сжатия. Это не противоречит возможности истечения с их поверхности небольшого количества газа, причины чего еще не ясны. Во всяком случае объекты Хербига — Аро больше всего похожи на зарождающуюся звезду.

Вспыхивающие звезды типа UV Кита являются красными карликами класса M очень малой светимости. В их спектре наблюдаются линии излучения водорода, гелия, кальция и железа. Бóльшую часть времени блеск этих звезд почти постоянен, но иногда звезда совершенно неожиданно вспыхивает, усиливаясь в блеске в несколько раз за немногие минуты и уже через несколько минут он становится нормальным. Оказалось, что в моменты вспышек звезды UV Кита посылают в пространство мощное радиоизлучение.

По характеру усиления ультрафиолетового излучения и другим изменениям в спектре вспышки звезд типа UV Кита сходны с хромосферными вспышками на Солнце. Они тоже сопровождаются всплесками радиоизлучения. Но вспышки этих звезд сопровождаются излучением энергии, в 100—1000 раз большей, и отношение энергии, излученной в радиодиапазоне, к энергии, излученной в оптической области спектра, в тысячу раз больше, чем при хромосферных вспышках. Вероятно, по какой-то причине звезды типа UV Кита выбрасывают по временам облака горячих газов, содержащих много релятивистских электронов, торможение которых в магнитном поле, очевидно, имеющемся у звезды, создает радиоизлучение.

Ввиду низкой светимости из звезд этого типа видны лишь ближайшие к нам, а из-за скоротечности

вспышек замечают их редко. Поэтому к 1967 г. обнаружили только 11 таких звезд, хотя в нашей звездной системе их может быть до миллиарда.

Характерный пример международной кооперации в астрономии представляет возникшая «служба вспыхивающих звезд». В некоторых обсерваториях, в том числе в СССР, по многу часов подряд следят за вспыхивающей звездой — не вспыхнет ли она, а в Англии и Австралии в то же время следят за ней с помощью радиотелескопа. Так организация исследований помогает сделать случаи удачных наблюдений более частыми, т. е. более «счастливыми».

Изучением переменных звезд в Советском Союзе, помимо специалистов, занимается большая армия любителей, среди которых есть много школьников. При аккуратном и взможно более частом определении блеска переменных звезд можно получить результаты, имеющие серьезное научное значение.

Успехи советской науки в области изучения переменных звезд обусловили то, что московским астрономам поручен учет международных исследований по переменным звездам: обозначение их, каталогизация и т. д.

### ПУХЛЫЕ АТМОСФЕРЫ

Спектр — это паспорт звезды, он запечатлевает ее физическое состояние, если только мы сумеем в нем разобраться. В паспортах тех звезд, о которых будет сейчас идти речь, мы стали разбираться лишь за последние два десятка лет, и у некоторых звезд они совсем особенные. У подавляющего большинства звезд, о которых говорилось до сих пор, спектры того же класса, что у Солнца,— непрерывные спектры, перерезанные темными линиями. Яркие линии только на время появляются в спектре долгопериодических переменных звезд и, по-видимому, свидетельствуют о периодических мощных извержениях раскаленных газов на их более холодную поверхность.

Но вот у некоторых горячих звезд спектральных классов A, B и O в спектрах наблюдаются отдельные

узкие яркие линии, а чаще всего некоторые темные линии ограничены со стороны красного конца спектра примыкающими к ним яркими линиями. Замечательно, что это встречается именно у горячих звезд, и, в общем, чем горячее звезды, тем ярче эти линии в их спектре и тем больший процент звезд их обнаруживает. Едва заметные яркие линии на краю некоторых темных встречаются у таких особенно ярких звезд класса A0, как, например, Денеб ($\alpha$ Лебедя). У звезд класса B, более горячих, эти линии заметны лучше, а в спектрах звезд класса O, еще более горячих, они первыми бросаются нам в глаза.

Причина этого вскрылась только недавно и состоит в том, что у этих звезд необычайно обширные, пухлые атмосферы. Такими, как их называют, протяженными атмосферами обладают самые горячие звезды, имеющие наибольшую светимость.

Обращающий слой, как известно, поглощает свет, идущий от более горячей, лежащей под ним поверхности звезды или фотосферы, но *сам* по себе испускает *те самые* длины волн света, которые поглощает. Поглощая свет, падающий на него снизу от звезды, он излучает его затем во все стороны, и потому *к нам* от него доходит только часть света, имеющего длину волны, которая поглощается обращающим слоем. В соседних же длинах волн спектра, для которых обращающий слой прозрачен, свет фотосферы достигает нас не ослабленным, и в результате в видимом спектре звезды наблюдается темная линия определенной длины волны. На краю Солнца, где за обращающим слоем нет фотосферы, дающей непрерывный спектр, к нам идет излучение самого обращающего слоя и наблюдается спектр из ярких линий.

У Солнца обращающий слой и хромосфера сравнительно с самим шаром Солнца очень тонки — как скорлупа на яйце, и те их части, которые проектируются за край Солнца, очень узки, дают мало света, дают слабый спектр излучения. Этот спектр можно видеть без труда только во время полных солнечных затмений, когда его не «заглушает» непрерывный спектр фотосферы. Последний получается от света

неба, т. е. от земного воздуха, рассеивающего свет этой фотосферы. Свет неба попадает в щель спектроскопа вместе со светом хромосферы, потому что хромосфера видна на фоне неба. Вне затмения яркие линии спектра, даваемые кольцом хромосферы, слишком слабы на фоне яркого спектра фотосферы и почти не видны.

Но у звезд, у которых хромосфера имеет толщину, сравнимую с величиной радиуса звезды, излучение толстого хромосферного кольца сравнимо с излучением фотосферы, и яркие линии на фоне непрерывного спектра становятся видны. У звезд с такими пухлыми атмосферами их протяженную хромосферу можно сравнить со скорлупой зеленого ореха.

Пухлыми атмосферами нередко обладают горячие звезды, потому что чем они горячее, тем больше ультрафиолетовых лучей в составе их света, а именно ультрафиолетовые лучи вызывают наиболее сильное давление света на атомы газа. У этих звезд давление света на атомы в их атмосфере противоборствует силе тяготения, прижимающей атмосферу к поверхности звезды, уменьшает вес атомов и, вероятно, поэтому позволяет им подниматься на бо́льшую высоту над поверхностью. Поэтому атмосфера распухает, становится протяженной, пухлой.

Однако очень пухлые атмосферы встречаются и у весьма холодных звезд.

Некоторые астрономы считают, что быстрое вращение звезды сильно способствует образованию обширных атмосфер. Действительно, горячие звезды вращаются вокруг своей оси быстрее других. Тогда под действием центробежной силы притяжение атомов звездой ослабевает, и они еще легче удаляются от ее поверхности. Если это действительно так, то пухлые атмосферы протяженны больше всего в плоскости экватора такой звезды, где центробежная сила больше. Сама звезда может быть почти круглой, а атмосфера ее может быть по форме подобна репе или плоской тыкве. В некоторых случаях около звезды, может быть, образуется даже нечто, подобное кольцу Сатурна, только газовое. Увидеть его, конечно,

в телескоп нельзя — слишком все это далеко от нас, но такое допущение объяснило бы многие особенности в спектрах некоторых звезд с яркими линиями.

Размеры протяженной хромосферы и яркость линий в спектре зависит не только от температуры звезды и скорости ее вращения, но также от светимости звезды и от силы тяжести на ее поверхности, а последняя зависит от соотношения между размером и массой звезды.

### ЗВЕЗДЫ, ИСТЕКАЮЩИЕ ГАЗОМ

Описанные выше звезды удерживают обширные и пухлые атмосферы так же, как Земля удерживает свою атмосферу. Но в коллекции звездных спектров можно проследить непрерывный переход от спектров с отдельными узкими тонкими *линиями* к спектрам, содержащим отдельные необычайно широкие яркие *полосы* наряду с темными линиями и даже без них. Если темные линии есть, то каждая из них, как правило, примыкает к яркой полосе со стороны фиолетового конца спектра и очень сильно смещена со своего нормального положения. Между тем середина яркой полосы занимает почти нормальное положение в спектре, соответствующее линии данного химического элемента. Чаще всего вид широких ярких полос в спектре имеют излучения нейтральных атомов водорода, гелия и ионизованных атомов азота, углерода и кислорода.

Если темные линии считать смещенными со своего места вследствие эффекта Доплера, т. е. благодаря движению соответствующего газа в атмосфере звезды, то оказывается, что эти темные линии на краю ярких полос образованы газами, несущимися к нам со скоростью, доходящей в иных случаях до 2000 *км/сек*!

Звезды, которые по линиям их спектра могли бы быть отнесены к звездам спектрального класса O, но имеют в спектре широкие яркие полосы, называют *звездами типа Вольфа — Райе* — по имени двух французских ученых, которые первыми обнаружили и

описали их еще в прошлом столетии. Разгадать природу этих звезд удалось только теперь.

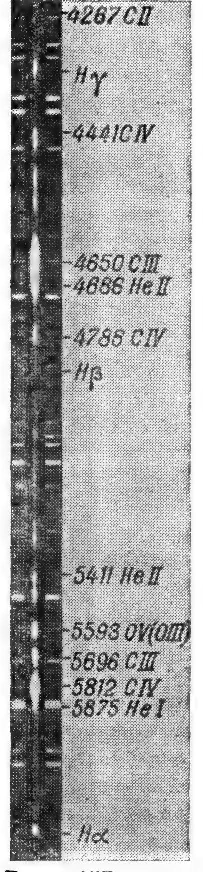


Рис. 157. Спектр звезды типа Вольфа — Райе.

Звезды этого класса — наиболее горячие среди всех известных. Их температуры, измеренные автором этой книги, заключены в пределах от 40 до 100 тысяч градусов! Наиболее же горячие из обычных звезд класса О (без ярких полос в спектре) имеют температуру поверхности только в 30 000°.

Такие огромные температуры сопровождаются столь мощным излучением потока ультрафиолетовых лучей, что легкие атомы водорода, гелия, а при очень высокой температуре и атомы других элементов, по-видимому, не выдержав давления света снизу, с огромной скоростью взлетают вверх. Скорость их движения под действием давления света так велика, что притяжение звезды не в силах их удержать. Непрерывным потоком они срываются с поверхности звезды и почти не удерживаемые мчатся прочь в мировое пространство, образуя как бы атомный дождь, но направленный не вниз, а вверх. Странный горячий дождь! Под таким душем сгорело бы все живое на планетах, если таковые окружают эти звезды на свое собственное несчастье.

Непрерывный дождь атомов, срывающихся с поверхности звезды, образует вокруг нее сплошную, но непрерывно рассеивающуюся в пространство атмосферу.

Атомы газа, ее составляющие, непрерывно обновляются за счет звезды, истекающей газом. Вместо яркой *линии* мы видим в спектре такой звезды

широкую *полосу* как совокупность множества линий, смещенных с нормального места на различную величину и слившихся друг с другом. Каждая

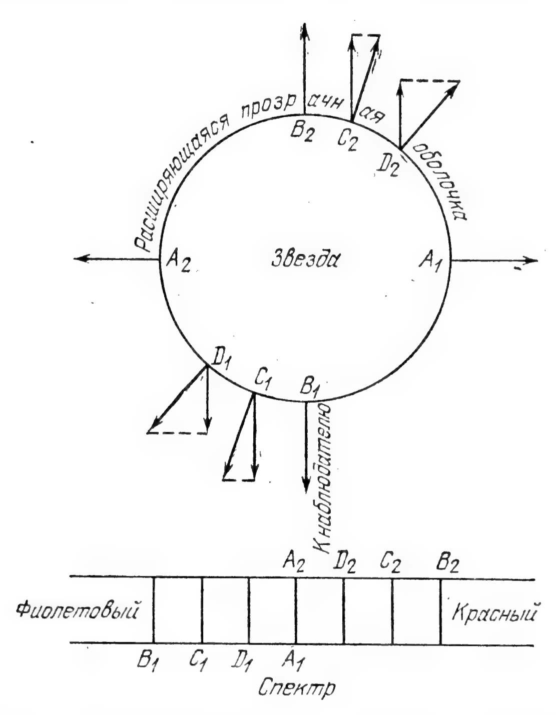



**Рис. 158. Яркие полосы в спектрах звезд Вольфа — Райе образуются совокупностью атомов, движущихся в их обширных атмосферах наружу под разными углами к линии нашего зрения.**

из них образована атомами, летящими под какимнибудь углом к линии, по которой мы смотрим на звезду. Чем больше этот угол, тем меньше проекция скорости атома на луч зрения, т. е. тем меньше его лучевая скорость, а лишь ее величиной (а не пространственной скоростью) обусловлена величина сдвига линий в спектре по принципу Доплера. Благодаря обширности излучающей атмосферы звезды Вольфа — Райе за телом звезды скрыты от нас лишь немногие

атомы, удаляющиеся от нас с наибольшей скоростью. Атомы же, приближающиеся к нам с наибольшей скоростью, проектируются на звезду и потому, как полагается, дают темную линию поглощения в спектре. Она смещена, очевидно, к фиолетовому концу спектра на величину, соответствующую скорости их приближения к нам, т. е. на величину скорости, с которой атомы покидают поверхность звезды.

Как долго может истекать газом звезда типа Вольфа — Райе? Подсчеты привели ленинградского профессора Н. А. Козырева к выводу, что в год звезда Вольфа — Райе выбрасывает массу газа, равную примерно одной десяти- или стотысячной доле массы Солнца. Как говорится, «если дальше так пойдет — до чего ж это дойдет!»,— и не истечет ли такая звезда газом нацело, без остатка? Масса звезд типа Вольфа — Райе в среднем в десяток раз превышает массу Солнца. Истекая газом с такой скоростью, звезда Вольфа — Райе не может просуществовать дольше, чем $10^4$—$10^5$ лет, после этого от нее уже ничего не останется. Независимо от этого есть данные, позволяющие считать, что и в действительности звезды в подобном состоянии существуют не дольше десяти тысяч лет, скорее даже значительно меньше. Вероятно, с уменьшением их массы до некоторого значения температура их падает, выброс атомов прекращается, прекращается и дальнейшее саморазрушение звезды.

В настоящее время на всем небе известно всего лишь около сотни таких саморазрушающихся звезд, из которых в СССР ни одна, к сожалению, не видна невооруженным глазом. Вероятно, лишь немногие, наиболее массивные звезды достигают, как мы думаем, в своем развитии таких высоких температур, когда начинается потеря газа. Быть может, как думает автор этой книжки, это явление можно сравнить с кровопусканием, полезным для полнокровных и тучных людей, так что, освободившись этим путем от излишка своей массы, звезда может продолжать нормальное, «здоровое» развитие.

Большинство звезд типа Вольфа — Райе (имеющих массы в среднем раз в 10 больше солнечной)

являются очень тесными спектрально-двойными звездами. Их партнер в паре всегда оказывается также массивной и горячей звездой класса O или B. Многие из таких звезд наблюдаются нами как «дьявольские», т. е. как затменно-двойные звезды, периодически загораживающие друг друга от нас.

Знакомство со звездами, имеющими яркие линии или полосы в спектре, хотя и редко встречающимися, во всяком случае значительно обогатило наши представления о звездах вообще.

## ЗВЕЗДЫ, СБРАСЫВАЮЩИЕ СВОИ ПОКРОВЫ

Звезды типа Вольфа — Райе стали нам известны недавно, но они тесно связаны со звездами другого типа, известными еще две тысячи лет назад и остававшимися наиболее загадочными из всех звезд, какие только видело человечество.

Представьте мир древних — хрустальную небесную сферу, на которой неподвижно укреплены со дня творения загадочные светочи-звезды. Неподвижные, неизменные огоньки, сияющие нам так же, как и далеким предкам, нерушимые сочетания звезд в созвездиях Скорпиона, Возничего, Большой Медведицы и других!

И вот еще во II веке до нашей эры великий ученый древности Гиппарх замечает в Скорпионе яркую звезду, которой здесь никогда не видел ни он, ни его предшественники. Что это,— новый акт творения, происшедший на наших глазах, поправка к уже созданному неизменному миру? Новая звезда, появившаяся в Скорпионе, проблистала недолго и, угаснув, скрылась из глаз. Пораженный Гиппарх решил предпринять перепись звезд на всем небе, записать точно их места и блеск, чтобы потомки могли следить за тем, не появятся ли опять на небе новые звезды и не исчезают ли иногда давно известные. Так был составлен Гиппархом первый известный нам звездный каталог, а по его образцу впоследствии создавались и другие, значение которых оказалось несравненно шире и составило фундамент астрономии.

Случаи, подобные наблюденному Гиппархом, замечались и впоследствии. Их отмечали китайские и иные летописи. Такие случаи в Европе впервые были описаны в 1572 и в 1604 гг., накануне изобретения телескопа. И во всех случаях конец был один — внезапно вспыхнувшая звезда, это новое светило, оказывалась недолговечной и через несколько месяцев исчезала из взоров, ослабевая с каждым днем. Распространялось мнение, что новые звезды, как запоздалые творения в уже готовом и совершенном мире, непрочны и потому быстро разрушаются.

Современные методы изучения звезд позволили в значительной мере разоблачить тайну вспышек новых звезд, из которых последние, светившие некоторое время как звезды первой величины, наблюдались в 1918 г. в созвездии Орла и в 1934 г. в Геркулесе. Наблюдалось еще много более слабых новых звезд, и подсчитано, что в нашей звездной системе, Галактике, ежегодно вспыхивает до сотни новых звезд, хотя из них мы замечаем только наиболее яркие и притом далеко не ежегодно.

Многие новые звезды были открыты не специалистами, а астрономами-любителями. Например, Новую Живописца 1925 г. открыл почтальон, Новую Персея 1901 г.— киевский гимназист, Новую Короны 1946 г.— железнодорожник и т. д.

Коллекции фотографий неба, хранящиеся на обсерваториях (так называемые стеклянные библиотеки, потому что они составляются из стеклянных негативов), помогли установить следующий факт: новые звезды вовсе не новые. Они существовали и раньше, но как незаметные слабые звездочки. Когда мы замечаем яркую новую звезду, то в действительности оказывается, что это одна из слабых звездочек внезапно так усилилась в блеске. Вспышка происходит чрезвычайно быстро, обычно дня за два. За это время звезда становится ярче на 11 звездных величин, а иногда даже на 14 звездных величин. Это соответствует увеличению блеска в 25—400 тысяч раз! Если изображать блеск «новой» звезды столбиком соответствующей высоты и принять, что до вспышки это был

столбик в 1 *см* высотой, то блеск в максимуме представится «столбиком» до 4 *км* высотой! Чтобы достать до верхушки этого «столбика», придется подняться на самолете; она будет выше большинства облаков и почти вровень с высочайшими вершинами Альп и Кавказа.

Иначе говоря, вспышка новой звезды равносильна тому, как если бы свеча, горящая у вас на столе, засверкала как прожектор. Конечно, тут надо еще иметь

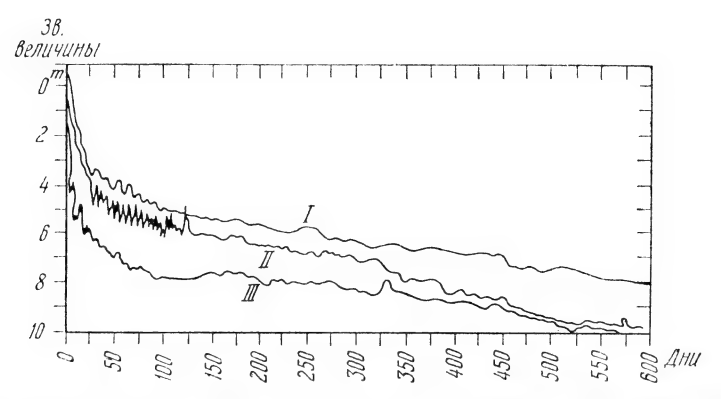



Рис. 159. Кривые изменения блеска нескольких новых звезд. Моменты их максимумов совмещены друг с другом; время в сутках отсчитывается от момента максимума.

в виду масштаб явления. Звезда, как бы она ни казалась слаба до вспышки, все же звезда, а не свечка. Мало того, установлено, что светимость новых звезд (за которыми это название так и сохранилось) до вспышки *в среднем* того же порядка, что и светимость Солнца. Представьте себе, что наше Солнце вздумало бы так вспыхнуть! Если бы его излучение увеличилось в десятки тысяч раз, мы бы не только ослепли, но и сгорели бы.

Сразу же после того как новая звезда достигла максимума, блеск ее начинает спадать, сначала быстро, потом все медленнее, и через несколько лет звезда по блеску становится такой же, какой она была до вспышки. При спадании блеска часто наблюдаются

вторичные вспышки, но при этих общих чертах нельзя найти две такие новые звезды, у которых кривые изменения блеска были бы совершенно одинаковы.

Такое чудовищно большое и быстрое изменение блеска уже само по себе говорит о его катастрофическом происхождении, но спектральные данные рисуют еще более интересную картину, детали которой стали понятны лишь за последние два десятилетия.

Незадолго до достижения своего наибольшего блеска новая звезда дает обычно нормальный звездный спектр с узкими яркими линиями на краю темных линий, по виду которых ее нужно отнести к сверхгигантам, т. е. к большим звездам с огромной светимостью и протяженными атмосферами. Это подтверждается также данными о ее светимости, выводимыми из оценок расстояния до новой звезды. В максимуме ее светимость в десятки и даже сотни тысяч раз превышает светимость Солнца. На короткое время новая звезда по светимости превышает все остальные известные нам звезды. Темные линии спектра в это время бывают смещены к фиолетовому концу спектра на величину, соответствующую скорости приближения к нам порядка нескольких сотен километров в секунду. Температура же звезды в этот период почти постоянна и не слишком высока: 8—10 тысяч градусов. Класс спектра бывает A или F.

Все это говорит нам, что внезапное увеличение блеска звезды вызвано внезапным увеличением размеров звездных покровов или оболочек. Ее наружные слои вместе с фотосферой, обращающим слоем и хромосферой раздуваются как мыльный пузырь. Они несутся во все стороны от центра со скоростью сотен километров в секунду, но мы видим только те их части, которые обращены к нам, т. е. лишь приближающиеся к нам (остальные скрыты телом звезды). Оттого и линии спектра смещены к фиолетовому концу.

Сразу после максимума блеска в спектре новой звезды происходит удивительное явление — место темных линий занимают широкие яркие полосы, на фиолетовом краю которых находится резкая темная

линия, смещенная с нормального положения на величину, соответствующую скорости приближения порядка тысячи километров в секунду и больше.

Объяснение этой картины то же, что и в случае звезд Вольфа — Райе: расширение во все стороны обширной атмосферы, прозрачной для своих собственных излучений, благодаря чему до нас доходит свет

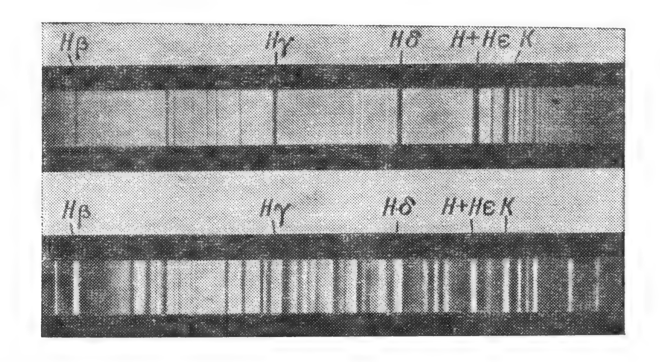



Рис. 160. Две фотографии спектра новой звезды в Геркулесе. Вверху — в день максимума, внизу на 10 дней позднее. Фиолетовый конец спектра — справа. (Получены автором на обсерватории Московского университета в 1935 г.)

и от удаляющихся частей, формирующих, как говорят, красную половину ярких спектральных полос. Только тут основную роль играет не непрерывное выбрасывание атомов с поверхности звезды, а расширение атмосферы, оторвавшейся от звезды в момент максимума. Причиной отрыва является внезапное увеличение скорости атомов атмосферы под действием возросшего давления света.

Итак, в момент максимума блеска звезда, вздувшаяся как мыльный пузырь, сбрасывает с себя свои покровы. Эти покровы, удаляясь от звезды и расширяясь, становятся все разреженнее и прозрачнее, и сквозь них проглядывает обнаженная звезда.

Представьте себе опять, что наше Солнце вздумало бы раздуться как пузырь, — мы бы сгорели как соло-

минки, потому что вздутая звезда в максимуме имеет поперечник больший, чем поперечник земной орбиты. Мы оказались бы внутри звезды еще до того, как она собралась бы сбросить свои покровы! Но мы увидим, что *с нашим Солнцем такая катастрофа невозможна.*

Начиная со времени максимума, в спектре звезды происходят непрерывные и сильные изменения, представляющие огромный интерес для специалиста. Но вы — не специалисты, и я не буду утомлять вас теми подробностями, которыми много лет увлекаюсь сам. Достаточно будет сказать, что изучение изменений спектра приводит к выводу, что с течением времени новая звезда нагревается все больше и больше и в конце концов доходит до температуры около 60—70 тысяч градусов и приобретает спектр типа Вольфа — Райе. Если бы мы не были свидетелями всей истории этой звезды, то могли бы думать, что это обычная звезда Вольфа — Райе. Впрочем, обычные звезды типа Вольфа — Райе почти в тысячу раз ярче, и это заставляет нас остеречься от зачисления всех их в список «бывших» новых звезд.

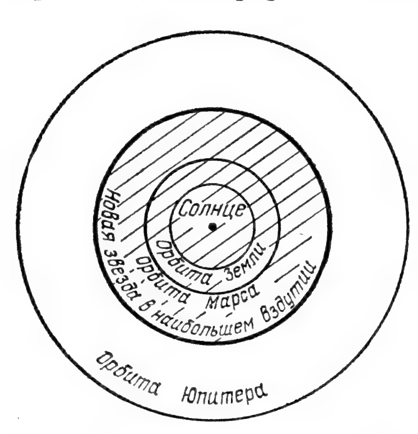


Рис. 161. Размеры новой звезды по сравнению с Солнечной системой.

Но что происходит с газовой оболочкой, сброшенной звездой в момент максимума блеска? Расширяясь, увеличиваясь в размерах, она несется во все стороны в пространство, все больше удаляясь от звезды. Если вы сомневаетесь в правильности такого объяснения явлений, наблюдаемых в спектре, то последите за новой звездой через несколько лет после вспышки в большой телескоп. К этому времени ослабевшая в блеске, но расширившаяся оболочка новой звезды становится достаточно велика, чтобы ее можно было

видеть непосредственно в телескоп даже на том огромном расстоянии, на каком мы от нее находимся. Такие туманные оболочки мы действительно видим теперь вокруг бывших новых звезд 1901 г. (в Персее), 1918 г. (в Орле), 1925 г. (в Живописце), 1934 г. (в Геркулесе). Из года в год мы измеряем непрерывное увеличение их размеров, происходящее с той самой скоростью, какая была определена нами в свое время

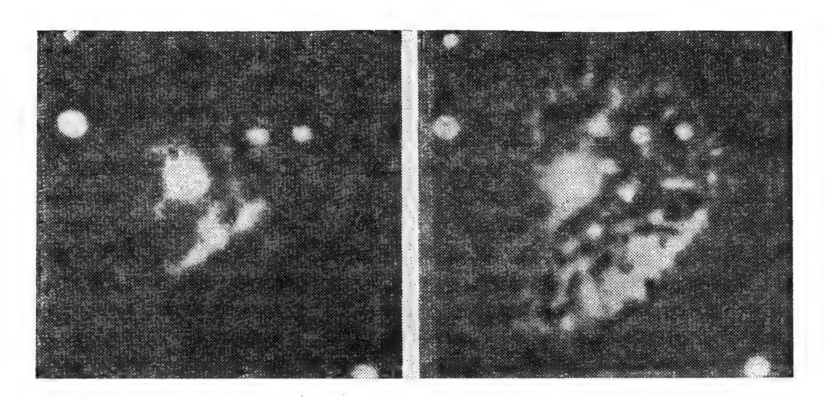


Рис. 162. Оболочка, расширяющаяся после вспышки Новой Персея 1901 г.

из изучения спектра звезды. Сначала такая туманность имеет вид крохотного пятнышка, потом пятнышко увеличивается и превращается в колечко, в центре которого видна слабенькая звездочка — бывшая «новая». Подсчеты показывают, что масса покровов, сброшенных звездой, в десять или сто тысяч раз меньше массы Солнца. Сброшенная оболочка состоит из водорода, гелия, азота, углерода, кислорода и других газов. И видом, и химическим составом, и физическим состоянием газовые туманности, образованные новыми звездами, похожи на встречаемые кое-где на небе маленькие туманности, неудачно названные когда-то планетарными за их внешнее сходство с зеленоватыми слабо светящимися дисками планет Урана и Нептуна.

Сходство туманностей, рожденных новыми звездами, с планетарными туманностями дополняется тем, что в центре и тех и других находятся звезды типа Вольфа — Райе и даже светимость их одинакова. Допустить, что известные нам планетарные туманности с их ядрами в виде звезд класса O и часто звезд Вольфа — Райе являются результатом вспышки новых звезд, нам мешает лишь то, что массы планетарных туманностей раз в сто больше, чем массы выброшенных оболочек этих звезд, и что они расширяются медленнее, чем атмосферы последних. Тут еще кроется какая-то загадка, но сходство этих двух видов небесных тел слишком велико, чтобы быть случайным.

Почему новые звезды сбрасывают свои покровы, со всякой ли звездой это может случиться, не может ли это случиться с Солнцем, меняются ли физиономия и «нутро» звезды после сбрасывания покрывал?

Увы, увы — все эти вопросы упираются в незнание точного спектра новой звезды до ее вспышки. Ах, если бы мы знали заранее, какая из слабых звездочек вскоре вспыхнет как новая! Мы бы во-время сняли ее спектр, сфотографировать же впрок, «на всякий случай», спектры сотен тысяч слабых звезд невозможно. Не зная же спектра новой звезды до вспышки, мы ничего не можем сказать и о ее физическом состоянии до катастрофы.

Все же есть данные, позволяющие сделать некоторые выводы. Оказывается, что и до и после вспышки многие новые звезды в небольших пределах неправильно меняют свой блеск. Солнце так себя не ведет. Есть звезды, названные автором этой книжки повторными новыми звездами. Их вспышки неправильно повторяются по прошествии нескольких десятилетий. Автор обратил внимание на тождественность их спектров до и после вспышки. Ничто не мешает предположить, что то же имеет место и для остальных новых звезд. От них новоподобные звезды отличаются лишь меньшим масштабом явлений, которые в остальном совершенно такие же, как у новых звезд.

Московские астрономы П. П. Паренаго и Б. В. Кукаркин нашли, что у полупериодических переменных звезд среднее время между вспышками тем больше, чем больше изменение их блеска. Этому соотношению удовлетворяют и новоподобные звезды. В частности, предсказывавшаяся ими повторная вспышка звезды, вспыхнувшей в Северной Короне, действительно произошла в 1946 г., и первым ее заметил астроном-любитель, обходчик железнодорожных путей Каменчук. Если эту зависимость распространить на новые звезды, то у них можно ожидать повторения вспышек примерно через три тысячи лет.

Повторение вспышек с такой частотой у некоторых звезд вполне может обеспечить наблюдаемую ежегодную частоту вспышек звезд в Галактике. Уже это, а также предполагаемый спектр новых звезд до вспышки (правильнее, пожалуй, было бы сказать между вспышками), характеризующий их как очень горячие звезды, *исключает возможность вспышки Солнца*.

Уокер в США сделал интересное открытие. Оказалось, что новая звезда, вспыхивавшая в Геркулесе в 1934 г., состоит из двух почти одинаковых звезд с массами меньше солнечной.

Но одна из этих звезд, вспыхивающая как новая звезда,— горячая, а другая — красный холодный карлик. Звезды этой пары очень близки друг к другу. Поэтому в силу взаимного сильного притяжения они обе имеют неустойчивые атмосферы. Из последних происходит истечение газа и его потоки, циркулируя, создают вокруг звезд еще и общую атмосферу. Интересное открытие принес электрофотометр. Из наблюдений Уокера оказалось, что все «бывшие новые» (новые звезды после вспышки) непрерывно «лихорадят». Блеск этих горячих звезд как бы трепещет. Мелкие колебания блеска имеют подобие периодичности порядка немногих минут. Кроме того, у них есть и более сильные, но более медленные колебания.

Замечательное открытие было сделано в 1966 г. Один из сильнейших источников излучения рентге-

новских лучей называется Скорпион RX-1. Ожидалось, что это может быть крохотная нейтронная звезда, по теории — «конечная» стадия эволюции звезд, исчерпавших свои источники энергии. На месте этого источника неожиданно нашли довольно яркую (около $13^m$) звезду, которая по мелким и быстрым и более медленным колебаниям блеска, по цвету и по спектру очень сходна с бывшими новыми звездами. Однако среди них пока не известно ни одного сильного источника рентгеновских лучей, хотя некоторые из них находятся от нас не дальше и столь же ярки.

Заметим еще, что повторные новые звезды подобно Новой Геркулеса являются тесными двойными звездами. Их спутники тоже холодные. Возможно, что тесная двойственность звезд как-то связана с их вспышками.

Вся совокупность наших сведений о новых и новоподобных звездах отрицает мысль, чтобы причиной вспышек могли быть столкновения звезд друг с другом или падения планет на звезды. Первые, если и бывают в Галактике, то слишком редко.

Причина вспышек новых и новоподобных звезд должна быть в них самих, и теория внутреннего строения звезд приводит к выводу, что при известных условиях в процессе развития звезды в ней может наступить состояние неустойчивости. «Перепроизводство» энергии в ее недрах поведет тогда к срыву наружных слоев звезды, как это показали Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский.

Автор этой книги полагает, что вспышки происходят у звезд с довольно высокой температурой и средней светимостью, не позволяющей отнести их ни к белым звездам главной последовательности, ни к белым карликам. В процессе эволюции только небольшое число звезд проходит через подобное состояние или же это состояние проходит очень быстро. Вот почему мы их почти не встречаем на диаграмме спектр — светимость. Эти звезды неустойчивы и время от времени сбрасывают свои внешние слои до тех пор, пока благодаря этому звезда не приобретет

устойчивость окончательно. После каждой вспышки звезда несколько сжимается и в конце концов, сжавшись и несколько охладившись, переходит в состояние белого карлика. Однако могут быть и другие «методы производства» белых карликов. В стадии звезды Вольфа — Райе она находится только в промежутках между вспышками, пока они происходят, да и то, вероятно, не все время.

В 1939 г. немецкий астрофизик Бирман пришел к выводу, что неустойчивость звезд наступает тогда, когда водород в их недрах исчерпан в процессе его превращения в гелий, в процессе, служащем источником энергии в обычных звездах. Когда выработка энергии в звезде становится недостаточной, излучение звезды ослабевает, т. е. ее блеск падает, и она, следовательно, переходит на диаграмме спектр — светимость в область, промежуточную между белыми гигантами и карликами, где с ней происходят вспышки, приводящие ее к состоянию белого карлика.

Автор этой книги в 1945 г. открыл, что белые и голубые звезды образуют на диаграмме спектр — светимость особую последовательность. Самые горячие звезды в порядке уменьшения светимости образуют на диаграмме непрерывный ряд. Он начинается с самых массивных и ярких среди известных звезд, переходит к менее массивным и ярким звездам Вольфа — Райе, затем к повторным, потом к типичным новым звездам, массы которых до сих пор не установлены, и заканчивается белыми карликами, самыми плотными звездами, наиболее скупо расходующими энергию.

Это открытие может быть истолковано так, что некоторые горячие звезды неустойчивы. Световое давление в них и неумеренный, может быть неравномерный, выход энергии в недрах приводят к истечению газа из их атмосфер, превращая их тем самым в звезды типа Вольфа — Райе. Мы не можем пока сказать, при каких условиях и со всеми ли горячими гигантами происходит такое изменение. Конечно, при этом теряется масса, а с нею уменьшается и

светимость звезды. Ослабев, звезда становится более устойчивой. Ее равновесие нарушается все реже и реже, однако все сильнее и сильнее с течением времени, когда где-то внутри постепенно опять накапливаются условия, приводящие к неустойчивости. Мы получаем новую звезду с ее редкими вспышками. После каждой из них звезда сжимается и уплотняется, пока не перейдет в состояние белого карлика, настолько устойчивое, что вспышки уже прекращаются совсем *).

## СВЕРХВЗРЫВЫ СВЕРХНОВЫХ ЗВЕЗД

Если собрать лучших писателей-фантастов и сказочников всего мира и предложить им выдумать что-либо совершенно невероятное, то, наверное, ни один из них не придумает ничего более невероятного, чем то, что мы сейчас опишем. Но это не фантазия, не сказка, а быль, происходящая на наших глазах. «Чудеса» природа демонстрирует вокруг нас постоянно, мы являемся их свидетелями, но зачастую не понимаем или понимаем лишь гораздо позднее, какое чудо природы было перед нами. Читатели книг по астрономии, может быть, уже привыкли к кажущимся невероятными расстояниям в тысячи световых лет, к планетам, совершенно не похожим на Землю, к компаниям цветных солнц, в тысячи раз более ярких, чем наше. Но не только у них, а и у бывалых астрономов-специалистов начинает кружиться голова, когда они задумываются над тем, о чем сейчас будет речь. Невероятность и в то же время достоверность этих явлений стала нам ясна лишь за последнее время, но свидетелями их были многие люди с давних пор. Был их свидетелем и китайский летописец Мин-Туань-Линь. 4 июля 1054 г. он записал:

«В первый год периода Чи-хо, в пятую Луну, в день Чи-Чу появилась звезда-гостья к юго-востоку

---

*) Подробнее об описанных здесь звездах вы узнаете из книги В. Г. Горбацкого «Новоподобные и новые звезды», «Наука», 1974.

от звезды Тиен-Куан и исчезла более чем через год». Собрат же Мин-Туань-Линя записал: «Она была видна днем, как Венера, лучи света исходили из нее во все стороны, и цвет ее был красновато-белый. Так была видна она 23 дня». Подобные скупые записи сделали также японские летописцы и арабские очевидцы. Эти записи были разысканы и прочитаны в 1942 г.

Немало подобных записей, хотя и не о столь ярких звездах-гостьях, т. е., по-видимому, о новых звездах, найдено в старых летописях. Но вот почти через тысячу лет после смерти Мин-Туань-Линя астрономы изучили подробно необычную туманность, видимую в телескоп к юго-востоку от китайской звезды Тиен-Куан. Мы называем ее Дзетой Тельца, а туманность за ее своеобразную форму наблюдатели прозвали Крабовидной. Как краб туманных очертаний в синеватой глубине моря, мерцает это слабое пятнышко света в синеватой бездне ночного неба, и в его центре на фотографиях видны две звездочки 16-й величины, т. е. в 10 000 раз более слабые, чем звезды, едва видимые невооруженным глазом в темную, безлунную ночь.

От обычных туманных пятен, десятками тысяч видимых на небе, Крабовидную туманность отличают две особенности. Во-первых, сравнение фотографий ее, сделанных с промежутком времени в 30 лет, позволило в 1942 г. подтвердить обнаруженный ранее факт: туманность заметно расширяется во все стороны от своего центра, занятого двумя звездочками. Во-вторых, спектр туманности необычен тем, что в нем на фоне яркого непрерывного спектра видны широкие и раздвоенные яркие линии химических элементов, среди которых водорода, не в пример другим газовым туманностям, очень мало. Вид спектральных линий показывает, что туманность расширяется со скоростью 1300 *км/сек*, т. е. раз в сто большей, чем у других газовых туманностей, также обнаруживающих расширение.

Сопоставляя видимую угловую скорость расширения туманности с его линейной скоростью,

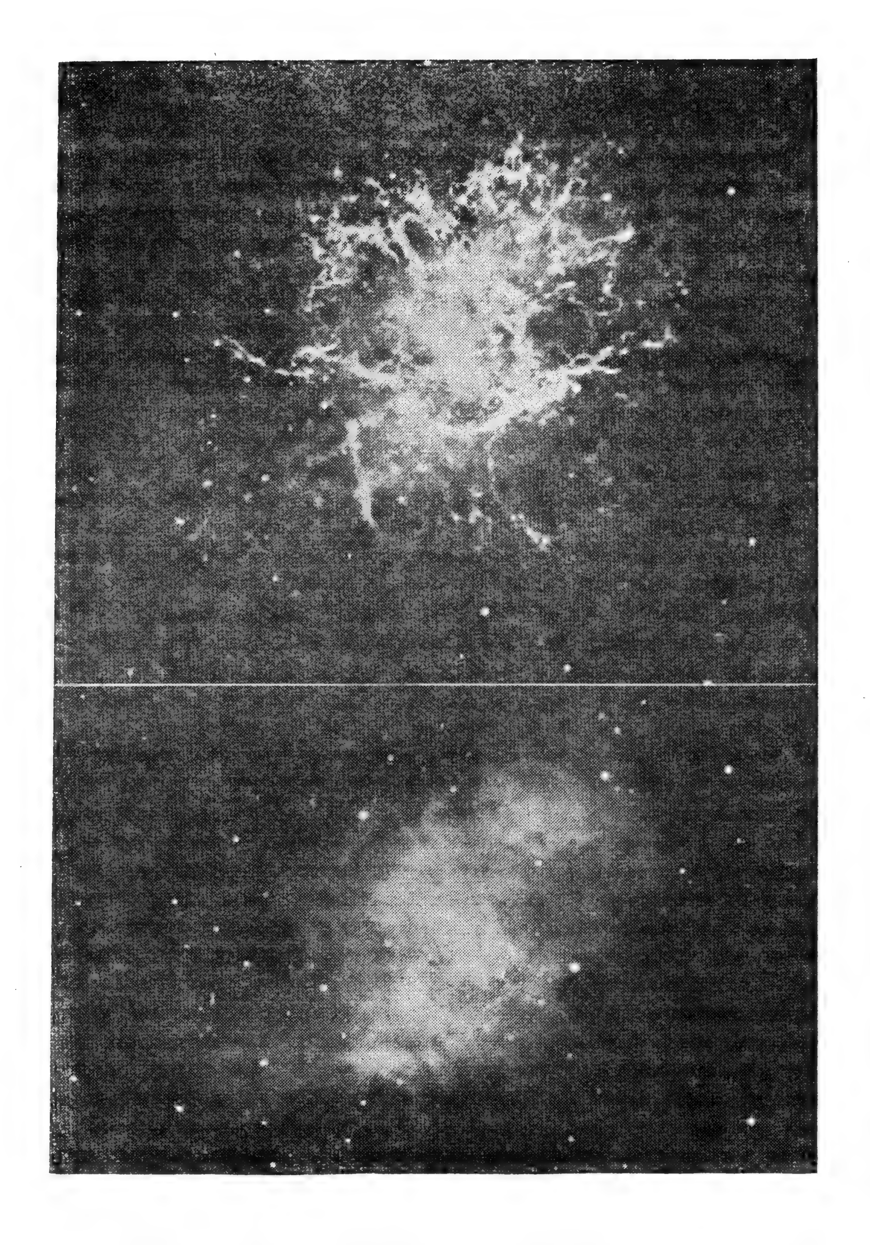


**Рис. 163. Крабовидная туманность в лучах красной линии водорода (вверху) и в непрерывном спектре.**

определенной по спектру, мы узнаем расстояние до туманности (5000 световых лет), а отсюда и светимость двух звездочек в ее центре (она та же, что у Солнца). Туманность огромна, свет от одного ее края до другого идет 6 лет, тогда как диаметр орбиты Плутона в Солнечной системе он пересекает за 11 часов.

Зная скорость видимого, углового расширения туманности, можно подсчитать, когда же все ее вещество было сосредоточено в одном месте — там, в центре, где видны две звездочки. И что же оказывается: это было около 800—900 лет назад, т. е. примерно в то время, когда китайские летописцы видели вблизи этого же места свою звезду-гостью!

Может ли это быть простым совпадением?! Может ли быть, чтобы такая исключительная туманность случайно возникла в то время и в том месте, где сияла исключительная новая звезда?

Да, после вспышки эта звезда оставила вместо себя Крабовидную туманность. Для создания такой колоссальной туманности должна была произойти катастрофа, по своей грандиозности далеко превышающая вспышки обычных новых звезд.

Сверхновая, сверхзвезда — из чего ты возникла и во что ты превращаешься, когда угасаешь? — задаемся вопросом мы, но он безответен... Если таким блеском могут засверкать солнца, подобные нашему, или если в звезды, подобные Солнцу, превращается сверхновая звезда, бывшая раньше чем-то другим, то увидеть их пока что безнадежно,— другие звездные системы, в которых также наблюдаются вспышки сверхновых звезд, слишком далеки от нас, чтобы можно было обнаружить в них звезду типа Солнца. Солнце, если бы оно находилось даже в ближайшей к нам звездной системе, светилось бы в несколько сотен раз слабее, чем самые слабые звезды, различимые в ней в настоящее время.

Надо, чтобы сверхновая вспыхнула к нам поближе, в нашей Галактике. К сожалению, за то время, как астрономы стали этим интересоваться, ни одного такого случая не было. Так как «звезда-гостья» 1054 г. была причиной возникновения Крабовидной

туманности и, следовательно, находилась на том же расстоянии от нас, то получается, что ее блеск был такой же, как у сверхновых звезд. Это была «наша собственная», «домашняя» сверхновая звезда. Крабовидная туманность особенно сильно излучает красные лучи, обязанные некоторым линиям азота. Это внушило мысль поискать подтверждения тому, что яркая новая звезда, наблюдавшаяся в 1604 г. в созвездии Змееддержца, тоже была сверхновой. Окрестности этого места в 1943 г. сфотографировали на пластинках, чувствительных к красным лучам, и на снимке обнаружили невидимую ранее слабую расширяющуюся туманность. Спектр ее оказался похожим на спектр Крабовидной туманности, и центр ее совпал с местом вспышки новой звезды Кеплера. В центре туманности нет звезд ярче $18^{1}/_{2}$ звездной величины.

Новая звезда, бывшая ярче Венеры и наблюдавшаяся даже днем в 1572 г. в созвездии Кассиопеи, была тоже сверхновой звездой, вспыхнувшей в нашей Галактике и на ее месте тоже найдена расширяющаяся туманность. Все туманности, появляющиеся в результате вспышек сверхновых звезд, являются источниками мощного радиоизлучения, в особенности Крабовидная туманность. Это излучение создается тем, что магнитное поле, существующее в них, тормозит движение очень быстро движущихся электронов. Таких электронов, носящихся со скоростью, близкой к скорости света, в этих туманностях при взрыве сверхновой возникает очень много.

Такое излучение называется синхротронным и им же обусловлен непрерывный спектр Крабовидной туманности. Его излучает аморфная масса этой туманности, тогда как прожилки в ней дают газовое излучение в ярких линиях спектра. Эти прожилки пронизывают аморфную массу туманности, масса которой примерно равна массе Солнца, т. е. в $10^4$ раз больше чем у оболочек, выброшенных обычными новыми.

Сильное радиоизлучение — характерный признак расширяющихся оболочек, выброшенных сверхно-

выми звездами. По этому признаку найден еще ряд таких оболочек сверхновых звезд, вспышки которых произошли слишком давно, или же по другим причинам не были замечены. Из них наиболее замечательна туманность Кассиопея А. Она, по-видимому, ближе к нам, чем остальные, так как является самым мощным из всех источников радиоизлучения при их наблюдении с Земли.

Существование сверхновых звезд вообще было выяснено раньше, чем за них в нашей звездной системе в сороковых годах были признаны звезды, вспыхивавшие в 1054, 1572 и 1604 гг. и считавшиеся сначала обычными новыми. Впервые сверхновыми назвали звезды, вспыхивавшие не в нашей Галактике, а в других звездных системах. По фотографиям еще в двадцатых годах были обнаружены вспышки звезд в далеких звездных системах, по размеру и по численности в них звезд сравнимых с нашей Галактикой.

В других, близких галактиках наблюдались вспышки новых звезд, и совершенно такие же, какие описаны в предыдущем разделе. Например, в спиральной галактике М 31 ежегодно вспыхивает около 30 новых звезд. В максимуме блеска они ярче всех остальных звезд галактики. Сверхновые же звезды, вспыхивающие несравненно реже, в максимуме блеска еще в десятки тысяч раз ярче. Их светимость в течение нескольких дней эквивалентна излучению нескольких миллиардов Солнц. Иногда это излучение превосходит излучение всей той звездной системы, в которой звезда вспыхнула. Как ни казалось это явление невероятным из-за мощности вспышки, а пришлось его реальность признать: с фактами, как известно, не спорят. Перед этим явлением совершенно стушевываются грандиозные катастрофы в обычных новых звездах.

Такие явления, более невероятные, чем сказки 1001 ночи, вскрывает перед нами наука!

Неудачно названные сверхновыми звезды вспыхивают крайне редко, в среднем в одной галактике, состоящей из миллиардов солнц, бывает одна такая

вспышка за 300—400 лет, но в больших галактиках они бывают в несколько раз чаще, чем в маленьких. Это установил Цвикки, еще в тридцатых годах начавший систематически подстерегать такие вспышки. С 1961 г. по его предложению началась международная «служба сверхновых звезд», в которой участвуют 11 стран, в том числе СССР. В результате к 1967 г.

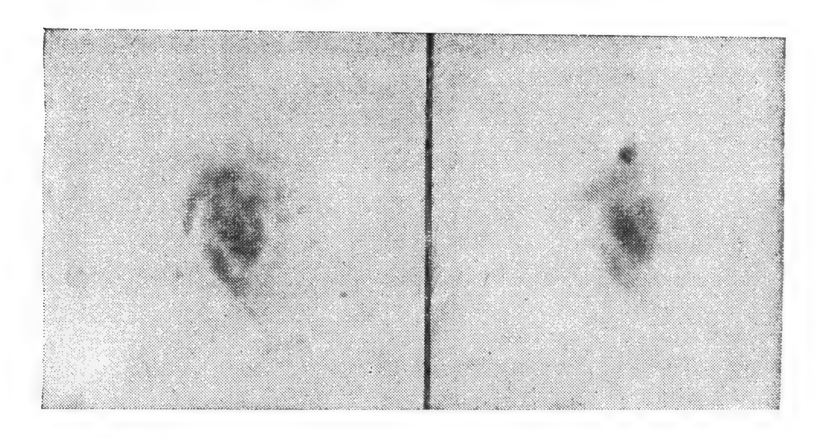


Рис. 164. Сверхновая звезда, вспыхнувшая в далекой галактике, светит как сотни миллионов солнц, вместе взятых. Слева — ее еще нет, на правой фотографии — она уже сияет. (Дано воспроизведение негативов.)

было открыто более полутораста вспышек сверхновых, больше, чем в нашей Галактике было открыто вспышек обычных новых звезд. И это в условиях, когда сверхновые звезды в максимуме не ярче 13-й звездной величины, а открываемые новые обычно намного ярче.

Ввиду большой удаленности и слабости видимого света даже в максимуме блеска изучить подробно сверхновые звезды других галактик тоже трудно. Все же удалось получить много важных сведений. Будучи сопоставлены с данными о радиоизлучающих расширяющихся туманностях (выброшенных сверхновыми нашей Галактики еще до изобретения теле-

скопа), эти сведения подводят нас к изучению рассматриваемых явлений в целом.

Минковский, изучивший кривые блеска и спектры сверхновых при помощи крупнейшего телескопа, установил существование двух типов сверхновых, различающихся кривыми блеска, спектрами и их изменениями. Спектры сверхновых I типа не содержат явных линий и не расшифрованы. Спектры сверхновых II типа сходны со спектрами обычных новых и меняются сходным образом, только яркие полосы в них шире и говорят о выбросе газов со скоростями в несколько тысяч километров в секунду. Сверхновые нашей Галактики в Тельце, Кассиопее и Змееносце были, по-видимому, сверхновыми I типа. Они немного ярче сверхновых II типа, вспыхивают гораздо реже, но зато в любой части звездных систем, тогда как более частые сверхновые II типа вспыхивают только вблизи плоского слоя тех галактик, у которых такой слой есть. Поскольку звездное население плоских слоев галактик отличается от населения сферического компонента их, звезды, вспыхивающие как сверхновые I и II типа, различны. Недавно Цвикки пришел к выводу, что существует не два, а пожалуй, даже пять типов сверхновых звезд, что еще больше осложняет проблему.

При вспышке сверхновой звезды выделяется чудовищная энергия порядка $10^{50}$ *эрг* или больше.

В 1971 г. впервые было обнаружено теоретически давно ожидавшееся радиоизлучение при вспышке сверхновой звезды. Со времени изобретения телескопа ни одна вспышка сверхновой звезды не наблюдалась в нашей звездной системе — Галактике. Мы наблюдаем их пока оптически только в других неимоверно далеких звездных системах, столь далеких, что даже в мощнейший телескоп звезду, подобную нашему Солнцу, нельзя было бы увидеть. Радиопоток в 1971 г. удалось обнаружить от замеченной перед этим сверхновой звезды в спиральной звездной системе, обозначаемой М 101. Свет от нее идет к нам несколько миллионов лет, и в ней звезд, даже в тысячу раз более ярких, чем Солнце, с такого расстояния

видеть невозможно. Однако сверхновая звезда вблизи ее максимума блеска была видна на фотографиях, полученных мощным телескопом. Радиопоток от нее на длине волны 21 *см* составил около $10^{-28}$ *вт/м$^2$·гц*. Излучение это, по-видимому, нетепловое.

Цвикки предполагал, что освобождение энергии в виде тепла и света, наблюдаемое при вспышке сверхновой звезды, нельзя объяснить на основе обычно принимаемых источников звездной энергии. Он допускал, что в данном случае энергия освобождается при превращении звезды, состоящей в основном из атомных ядер, в спавшуюся звезду, состоящую из нейтронов. Когда весь водород превратился в гелий, у звезд вполне определенной массы вследствие чрезмерной плотности и температуры происходит, так сказать, втискивание свободных электронов в ядра атомов под действием высокого давления. Электроны, втискиваясь в ядра, нейтрализуют их заряд и превращают их в нейтроны. Нейтроны, обладая размерами атомных ядер, но не имея электрического заряда, препятствующего их сближению, могут быть сближены гораздо больше, чем электрически заряженные ядра атомов. Внешнее давление сжимает звезду с большой скоростью, и сразу же бурно освобождается энергия тяготения. Избыток излучения в недрах звезды срывает в пространство ее внешние слои, а остаток звезды спадает к центру, как карточный домик, и утрамбовывается до плотности нейтронов (порядка $10^{14}$ *г/см$^3$*). Диаметр звезды, по мнению Цвикки, уменьшается до 10 *км*!

Такая звезда по величине была бы подстать астероидам. Наперсток с нейтронами весил бы сто миллионов тонн. Вся масса Земли, превращенная в нейтроны, поместилась бы внутри шара диаметром полтораста метров. Отсюда уже недалеко и до узелка, в котором была заключена вся земная тяжесть и который пытался поднять былинный богатырь Святогор.

Согласно расчетам нейтронная звезда должна была бы излучать мощный поток рентгеновских лучей, по которому такую крошку только и можно было бы обнаружить. В середине шестидесятых годов на небе

впервые было обнаружено несколько самых мощных источников рентгеновских лучей. Один из них совпал с упоминавшейся выше туманностью Кассиопея А, а другой — с Крабовидной туманностью. Но рентгеновское излучение внутренних областей туманностей, оставленных сверхновыми звездами, относится к самим туманностям и, по-видимому, также имеет синхротронную природу.

«Оставим все это на суд будущего...» — так писал я в предыдущем издании этой книги. Но уже вскоре открытие радиопульсаров, из которых один оказался внутри Крабовидной туманности («по совместительству» он является также оптическим пульсаром и, наконец, рентгенопульсаром), блестяще оправдало предсказание моего покойного друга Фрица Цвикки. Нейтронные звезды, а затем и так называемые «черные дыры» оказались реальностью.

## ЗВЕЗДНЫЕ ВОЛЧКИ-ПУЛЬСАРЫ И «ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ»

Первый пульсар был открыт английским радиоастрономом Э. Хьюишем и его сотрудниками в конце 1967 г. . . . Это была крупнейшая, неожиданная «новинка». С «пустого» как будто места неба обнаружили идущие в Космос короткие радиоимпульсы, повторяющиеся с исключительной стабильностью с периодом не менее секунды. В начале можно было подумать, не искусственные ли это сигналы какой-нибудь внеземной цивилизации! Стабильность импульсов у известных нам пульсаров, число которых теперь перешло за сотню, сочетается с большими вариациями интенсивности их импульсов и степени поляризации их излучения. Периоды их пульсации от 4 до $^{1}/_{50}$ секунды, т. е. довольно однообразны. Однако периоды обычно увеличиваются, реже уменьшаются и иногда скачками. Замечательно, что наряду с пульсацией радиоизлучения обнаружилось и пульсирующее рентгеновское излучение. Наконец, у пульсара, обозначаемого NP 0532, обнаружилась и оптическая пульсация — после того как он оказался тождественным со слабой звездочкой, которая является

остатком сверхновой звезды, породившей при вспышке Крабовидную туманность в созвездии Тельца, о которой мы уже рассказывали. Но это пока единственный пульсар, который виден. У пульсаров иногда наблюдаются резкие, скачкообразные изменения периодов. Это может происходить от «звездотрясений», вызывающих быструю и резкую перестройку строения нейтронной звезды-карлика, либо от мощного выброса плазмы наружу. Пульсары заметно концентрируются к Млечному Пути,— следовательно, они находятся внутри нашей Галактики. Расстояния до них можно оценить лишь очень грубо, косвенными методами. Они составляют сотни, чаще несколько тысяч световых лет, и пульсары, кроме одного, пока невидимы потому, что их световое излучение, вероятно, очень — очень слабо. Большинство специалистов убеждены в том, что пульсары — это крохотные нейтронные звезды с диаметром в несколько километров, вращающиеся с периодами в доли секунды. Их вполне можно назвать «звездными волчками». Массы пульсаров должны быть сравнимы с массой Солнца, но при плотности в центре около $10^{15}$ *г/см*$^3$ и сильнейшей намагниченности. (Магнитное поле пульсара может достигать напряжения $10^{13}$ эрстед.) Наблюдаемые нами пульсации излучения должны происходить от существования радиоизлучающих областей на поверхности, вращающихся вместе со звездой по отношению к нам. Вместе с тем вращается и магнитное поле. Модели пульсаров и механизмов излучения ими энергии изучаются теоретически.

Общая теория относительности допускает, что под действием силы тяжести, когда давление газа становится меньше гравитационного, сжатие происходит катастрофически — быстро наступает коллапс. Если масса звезды больше чем 1,2 массы Солнца, но меньше двух масс Солнца, сжатие приводит к превращению звезды в нейтронную. Но если масса звезды больше указанной, то сжатие происходит дальше, минуя так называемый радиус Шварцшильда. Ни луч света, ни вещество не могут из нее выйти наружу, она становится невидимой. Мы говорили выше о ко-

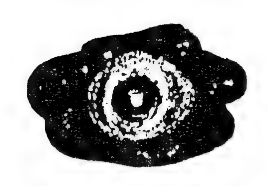
метах — «видимом ничто», а здесь мы имеем невидимое «что-то» — принципиально невидимое, ничтожного размера, но с большой массой. Это «что-то» даже и звездой назвать неудобно. Это вначале чисто теоретическое образование стали называть «черной дырой» (не смешивать с понятием о «черном теле» в физике!),— «черной дырой» потому, что она не светится и потому что она представляет собой «особую точку» в пространстве. Обсуждение возможных свойств «черных дыр» и их поиски являются сейчас модной темой для физиков и астрономов.

Появились соображения, что при падении газа на «черную дыру» этот газ может излучать достаточно много энергии для того, чтобы быть видимым, и что «черная дыра», обращающаяся с коротким периодом в паре с видимой звездой, может быть обнаружена по ее движению. В случае некоторых затменных переменных звезд было обнаружено рентгеновское излучение, как у пульсара. При этом полагают, что вокруг звезды обычного типа обращается по орбите на близком расстоянии «черная дыра». Она излучает подобно пульсару, в который превращается звезда неизвестного типа, вспыхнувшая как сверхновая. Излучает здесь в рентгеновском диапазоне собственно диск горячего газа — плазмы, перетекающей к «черной дыре» от звезды видимой. Массы объектов, считаемых предварительно «черными дырами» (они входят в пáры), определяются по периоду обращения и скорости движения — эти величины зависят от масс компонент. Оценки давали для «черных дыр» несколько масс Солнца. В 1974 г. был обнаружен радиопульсар с частотой излучения, меняющейся вследствие его орбитального движения. Изучение его движения приводит к массе, равной солнечной. Это согласуется с представлением о том, что «черные дыры» суть коллапсировавшие звезды, как бы мертвые звезды — последняя стадия их существования.

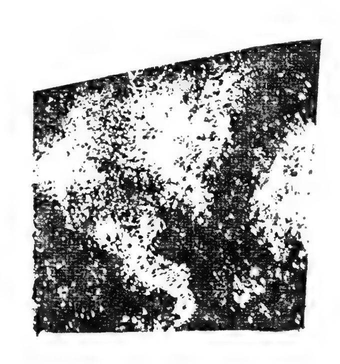
На Международном астрономическом съезде в Варшаве в 1973 г. специалисты сообщили, что по расчетам при начальной массе звезды более 10 масс Солнца

термоядерный синтез в их ядрах приводит к образованию железного ядра внутри них с плотностью $10^8$ *г/см*$^3$. При повышении температуры свыше $5 \cdot 10^9$ градусов происходит гравитационный коллапс в форме вспышки сверхновой звезды и образования нейтронного пульсара, если масса железного ядра меньше двух солнечных масс, и «черной дыры» при большей массе. Наблюдения пока ничего не могут сказать о том, что представляют собой звезды перед своей вспышкой как сверхновые.

Сказанное здесь сопоставьте с тем, что рассказывается об эволюции звезд вообще в главе 11. Для лучшего же ознакомления со сверхновыми звездами прочитайте книгу Ю. П. Псковского «Новые и сверхновые звезды» («Наука», 1974).



Г Л А В А 9



# МИР ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ И РАССЕЯННЫХ ГАЗОВ

## РАССЕЯННЫЕ И ШАРОВЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И АССОЦИАЦИИ

Рассеянные и шаровые звездные скопления отличаются друг от друга по виду примерно так же, как неорганизованные толпы людей отличаются от дивизий солдат, построенных в строгом порядке.

Рассеянные скопления находятся внутри нашей звездной системы — Галактики и расположены в ней вперемежку с одиночными звездами: они как бы крупные населенные пункты внутри страны. За их положение в пространстве их иногда и называют галактическими, а за слабую концентрацию звезд к центру скопления их и назвали рассеянными. Звезд в них бывает тысячи, и разбросаны они в пространстве без особой правильности, как палатки цыганского табора.

Примером рассеянных скоплений являются Плеяды. В народе их называют где Стожарами, где — Утиным гнездышком, а где Волосожаром. Осенью они восходят вечером, а зимой вечером стоят уже высоко в небе. Невооруженный глаз средней зоркости видит в этой кучке шесть звезд, а зоркий глаз — от семи до одиннадцати. В поле же зрения телескопа здесь мерцают сотни звезд всевозможного блеска. Принадлежность звезд к данному скоплению обнаруживается из общности их движения в пространстве. Так можно бывает выделить звезды, более к нам

близкие или далекие, случайно проектирующиеся на звездное скопление.

Измеряя видимые звездные величины звезд в скоплениях и их спектры или определяя цвета, что доступнее и проще, можно составить для них подобие

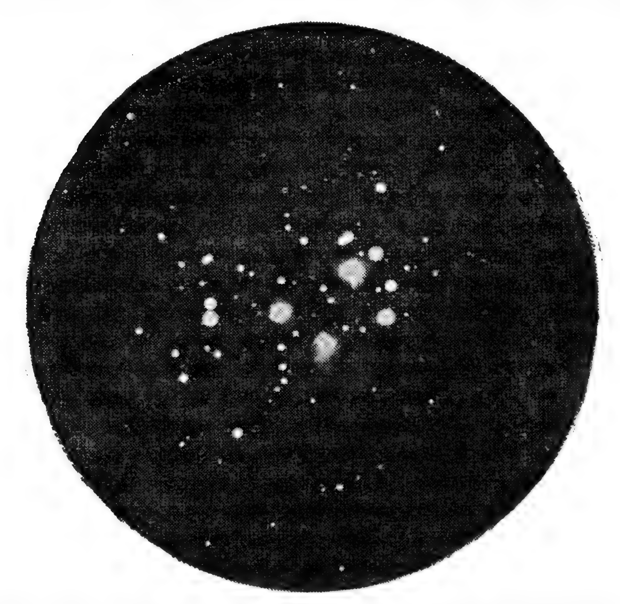


Рис. 165. Фотография рассеянного (галактического) звездного скопления Плеяды.

диаграммы светимостей — спектров. Она чаще всего похожа на такую же диаграмму, составленную для ближайших окрестностей Солнца. Диаграмма эта обычно оказывается неполной из-за отсутствия ветви гигантов (и, конечно, из-за невозможности увидеть в далеких скоплениях белые карлики).

Сравнивая ее с диаграммой для окрестностей Солнца и, так сказать, приравнивая их друг к другу, можно определить разность $m - M$, т. е. разность между видимой звездной величиной звезд каждого спектрального класса в скоплении и их абсолютной

звездной величиной, а по этой разности, как мы видели, легко подсчитать расстояние до скопления. Зная же расстояние и измерив видимый угловой диаметр скопления, легко определить линейный диаметр скопления в световых годах. Например, Плеяды отстоят от нас на 320 световых лет, и диаметр этой группы звезд — около 30 световых лет.

Вокруг красного Альдебарана, самой яркой звезды в созвездии Тельца, легко заметить немногочисленную и более рассеянную, чем Плеяды, группу звезд скопления Гиад. Всего нам известно около 500 рассеянных скоплений, но мы не знаем еще множества более далеких и слабосветящихся или же скрытых от нас темными туманностями.

В. А. Амбарцумян выделил на небе группы звезд, которые он назвал ассоциациями. Звезды в ассоциации имеют одинаковые физические признаки и разбросаны гораздо сильнее, чем звезды рассеянных скоплений. Последние сами часто входят в состав ассоциаций. Амбарцумян назвал О-ассоциациями группы горячих звезд, содержащих звезды класса О или ранние звезды класса В, и Т-ассоциациями — группы, содержащие переменные звезды типа Т Тельца. Ассоциации выделяют на небе по видимому скучиванию таких немногочисленных звезд. Реальность такого видимого скучивания звезд классов О и В требует тщательной проверки. Дело в том, что в Млечном Пути много облаков темной материи. В прорывах между ними существуют просветы — «коридоры видимости». В таком коридоре далекие горячие звезды видны среди более близких и получается лишь видимая большая плотность их на данной площади, в то время как в пространстве такого тесного скучивания их нет.

Но даже тогда, когда оно есть, взаимное тяготение между звездами ассоциации мало́, так как они далеки друг от друга и звезды из этой области будут постепенно разбредаться. Установить такое их разбегание пока трудно и его существование является предметом споров. По мнению В. А. Амбарцумяна, в О-ассоциациях рождаются и горячие звезды и более холодные

— это колыбели их, наряду со звездными скоплениями. Размеры ассоциаций являются промежуточными между размерами рассеянных звездных скоплений и больших звездных облаков.

Шаровые звездные скопления, известные в числе около сотни, имеют своего типичного представителя в лице звездного скопления в Геркулесе, видимого в бинокль как туманная звездочка примерно 6-й звездной величины. Лишь сильный телескоп, а в особенности фотография, показывают, что тут существует целое скопление звезд в форме шара, сильно концентрирующихся к его центру. Тут сотни тысяч звезд, из которых мы видим только ярчайшие. Звезды более слабые по блеску, в частности такие, как Солнце, невидимы. Из-за удаленности от нас и многочисленности звёзды, особенно вблизи центра, сливаются в одно сплошное светлое сияние.

Расстояния до шаровых звездных скоплений долго были загадкой, пока среди их населения не были обнаружены цефеиды. Представьте себе, что в крошечной области неба, занятой скоплением, вы открываете одну, вторую, третью, наконец, десяток цефеид, тогда как вокруг скопления на большом расстоянии вы их не находите ни одной. Может ли это быть случайным совпадением?

Одна цефеида, более близкая к нам, чем скопление, или более далекая, может проектироваться на скопление — это будет «случайность». Если из всех цефеид в этой области и вторая проектируется там же, это можно назвать «совпадением». Но если их проектируется туда десяток и больше, это уже не может быть, как говорят, «привычкой», ибо привычек у звезд нет. Это может означать лишь то, что цефеиды действительно находятся в самом шаровом скоплении, являются его членами. Наличие цефеид дало возможность определить расстояния до ряда шаровых скоплений, а затем и их размеры. До тех из них, в которых цефеид не оказалось, расстояния, по предположению Шепли (США), можно было определить по видимому блеску наиболее ярких звезд. Для наиболее далеких скоплений, представляющихся

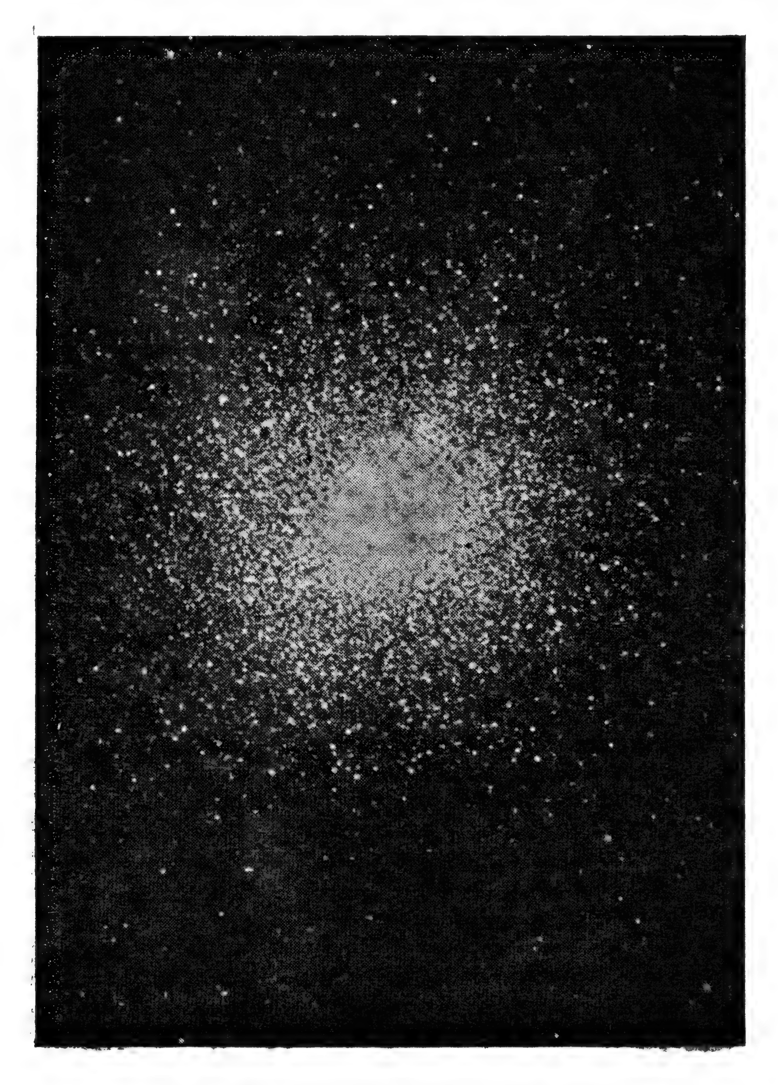


**Рис. 166. Шаровое звездное скопление.**

пятнышками, в которых отдельных звезд не видно, расстояния можно было определить по видимым угловым размерам и по видимому суммарному блеску, так как истинные линейные размеры и суммарная светимость у всех шаровых скоплений оказались примерно одинаковыми.

Одно из ближайших к нам шаровых скоплений — то, что находится в Геркулесе, отстоит от нас на 20 000 световых лет, его диаметр — сотня световых лет. Наиболее далекие из шаровых скоплений отстоят от нас на 230 000 световых лет.

Диаграмма спектр — светимость для звезд шаровых скоплений значительно отличается от такой диаграммы для рассеянных скоплений и для окрестностей Солнца. Там существуют и несколько иные типы звезд. Сравнение подобных диаграмм для разных звездных систем позволяет сделать важные заключения о жизненном пути звезд и их систем. Об этом мы узнаем из главы 11.

Немецкий астроном Бааде, работавший в США, впервые указал на существование двух типов звездного населения, имеющих различие и в их распределении в пространстве. Исследования советского астронома Б. В. Кукаркина и его сотрудников показали, что объекты с различными физическими характеристиками (например, переменные звезды различных типов, звездные скопления различного вида и т. п.) входят в состав более разнообразных составляющих нашей звездной системы: плоскую, сферическую и промежуточную. Имеются веские основания предполагать, что объекты, входящие в различные составляющие, имеют разное происхождение и возраст.

Так, например, шаровые скопления и короткопериодические цефеиды входят в состав сферической составляющей, заполняя пространство внутри шара с центром в центре нашей звездной системы. Другие небесные тела, например, горячие гиганты, пылевые и газовые туманности, входят в состав плоской составляющей, сосредоточиваясь преимущественно в тонком слое вдоль плоскости Галактики. Определение расстояний до шаровых скоплений говорит нам о том,

что шаровые скопления концентрируются к центру Галактики, но простираются до границ нашей звездной системы, за которыми начинается лишенное звезд пространство. Таким образом, размер системы шаровых скоплений определяет внешние размеры Галактики — того звездного дома с многочисленным населением, в котором мы живем.

Что же находится за пределами этого дома? Есть ли там еще другие звездные дома, другие звездные вселенные, другие галактики, сходны ли они с нашей или не похожи на нее? Об этом читайте в главе 10.

### ЯСНЕЕ О ТУМАННОМ МИРЕ

Туманностями астрономы называли все то, что имеет туманный вид, непонятно, из чего состоит, но занимает неизменное место на небе среди звезд. С улучшением методов исследования некоторые (и даже подавляющее большинство) из видимых нами туманных пятен оказались далекими звездными системами.

Но у некоторых светлых туманностей, близких к полосе Млечного Пути или видимых в нем самом, были обнаружены спектры, состоящие из узких ярких линий на темном фоне.

Определяя их физическую сущность, а не только вид, их надо назвать туманностями газовыми. Так как они находятся внутри нашей звездной системы — Галактики, то по их пространственному положению их назвали туманностями галактическими, в отличие от внегалактических туманностей, которые являются гигантскими звездными системами, подобными нашей, и часто сами содержат газовые и пылевые туманности.

Итак, газовые туманности, как их лучше называть во избежание недоразумений, состоят из разреженного газа; по форме различают неправильные, или *диффузные*, и *планетарные*, круглой, продолговатой или кольцевой формы со звездочкой — ядром в центре. Назвали их планетарными очень давно и крайне неудачно, так как по своей природе они никакого отношения к планетам не имеют.

Итак, как видите, причины исторического характера для неискушенного человека напустили невольно немало тумана в терминологию, связанную с туманностями.

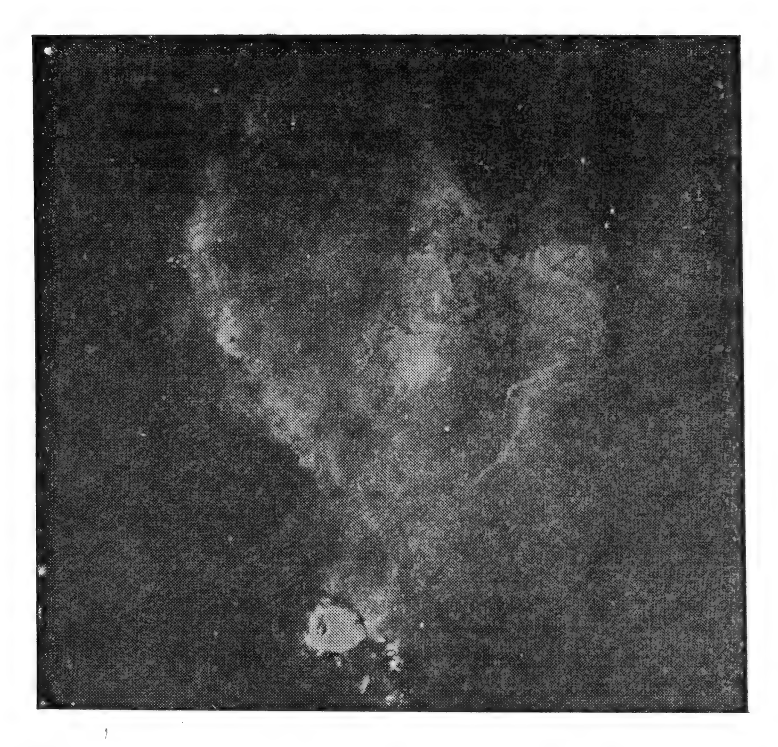


Рис. 167. Диффузная туманность. (Фотография Д. А. Рожковского в Алма-Ате.)

Чтобы картина стала яснее, укажем, что газовые туманности в основном состоят из водорода, который ионизован. Обширные области горячего ионизованного водорода называются областями H II (H — химический символ водорода), а области неионизованного, холодного и невидимого водорода называются областями H I.

## ТУМАННЫЙ ГАЗ

Линии спектра показывают, что газовые туманности состоят из водорода, гелия, азота, кислорода, углерода и некоторых других химических элементов.

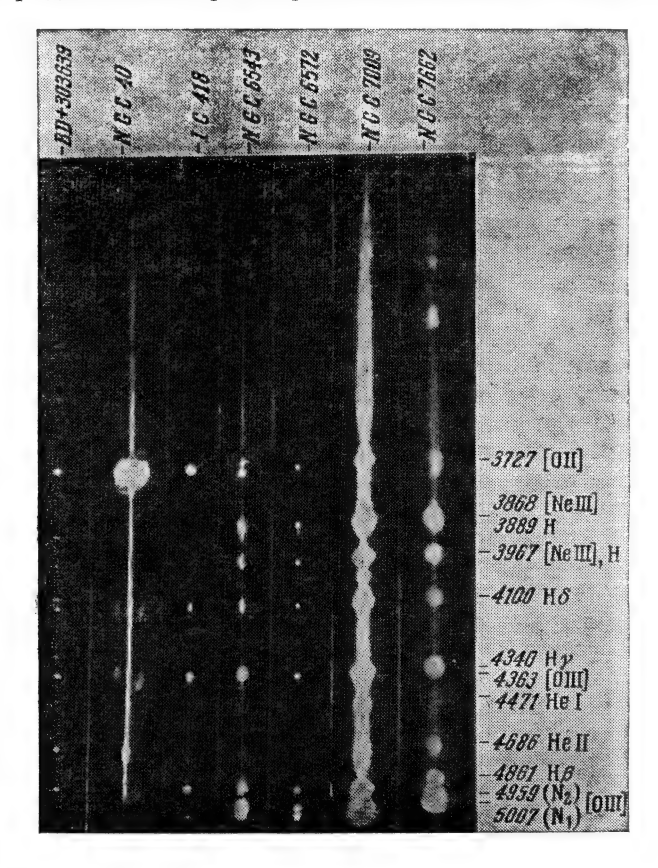



Рис. 168. Спектры планетарных туманностей.

**Но самыми яркими в спектре являются две зеленые линии, которые более полувека приписывались неизвестному газу, так как ни один химический**

элемент в лаборатории не обнаруживал этих линий ни при каких условиях. Как неизвестный газ на Солнце был назван «солнечным» или «гелием», так неизвестный газ туманностей был назван «туманным» или «*небулием*» (от латинского «небула» — туманность).

Годы шли, но загадка небулия не разрешалась. Только успехи теории спектров и теории атомов позволили разоблачить незнакомца.

Подобно коронию на Солнце, «туманный газ» вырядился в незнакомую одежду из зеленых линий спектра и под ними скрыл себя. Уже давно было ясно, что небулий — замаскировавшийся знакомец, так как для него не осталось места в периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

Маску с небулия сорвал в 1927 г. Боуэн, вычисливший длины волн почти всех линий спектра, какие только могут когда бы то ни было давать химические элементы, уже обнаруженные в туманностях. Зеленые линии оказались «запрещенными» линиями дважды ионизованного кислорода. В туманностях дважды ионизованный кислород излучает как свои «разрешенные» линии, так и «неразрешенные», и последние у него даже ярче первых. В рассказе о разоблачении солнечного «корония» объяснялось, что́ такое запрещенные линии и отчего они почти не наблюдаются в лабораториях. Для их излучения газ должен быть крайне разрежен, а энергия, падающая на него от звезды, также должна быть крайне разрежена, т. е. газ должен находиться достаточно далеко от звезды, где освещение очень слабо. В лаборатории и до сих пор не удалось с уверенностью вызвать появление зеленых линий дважды ионизованного кислорода, потому что на Земле мы еще не можем предоставить ему для этого нужных условий. Лучшие наши воздушные насосы не в состоянии даже отдаленно создать такое разрежение газа, какое существует в газовых туманностях. А между тем этот газ, который с земной точки зрения гораздо разреженнее, чем то, что мы называем пустотой под колпаком воздушного насоса, ярко светится. Мы его видим на расстояниях

в тысячи световых лет, а если говорить о газовых туманностях, обнаруженных в других галактиках,— то и на расстояниях в миллионы световых лет. В лаборатории до сих пор не наблюдаются многочисленные другие линии спектра туманностей, менее яркие, чем зеленые, и также приписывавшиеся все тому же небулию. Они оказались запрещенными линиями того же кислорода, но однажды ионизованного или нейтрального, а также запрещенными линиями других известных химических элементов.

Газовые оболочки, выбрасываемые новыми звездами, дают спектр совершенно такой же, как газовые туманности, и иногда в спектрах новых звезд все самые яркие линии, а в некоторых случаях даже и вообще все видимые линии — запрещенные.

В настоящее время все линии спектров газовых туманностей отождествлены. Их известно более сотни. По этим линиям мы узнаём качественный химический состав туманностей. В основном он характеризуется легкими элементами, но, как и в случае звездных атмосфер, в туманностях могут быть и некоторые другие химические элементы, хотя их линии в спектре и не наблюдаются. Причиной этого является либо слабость линий, либо их нахождение в области, недоступной для исследования в земных условиях: в ультрафиолетовой (которая поглощается в земной атмосфере) или в инфракрасной (где сильны линии поглощения водяными парами нашего воздуха).

Гораздо труднее определить количественный химический состав газовых туманностей, т. е. пропорцию разных химических элементов. При прочих равных физических условиях чем ярче, интенсивнее соответствующие линии спектра данных ионов, тем больше этих ионов, так как каждый квант света спектральной линии вызывается излучением одного иона. Но дело заключается в широких различиях физических условий, вызывающих излучение данной линии, и в том, что многие ионы не дают линий в наблюдаемой части спектра. Полное же число атомов данного элемента равно сумме всех нейтральных атомов и всех его ионов.

Можно считать, что в пределах точности расчетов нет существенного различия между количественным химическим составом туманностей и звезд. Было бы особенно интересно сравнить химический состав ядер туманностей и их оболочек, так как, несомненно, вещество оболочки (если учитывать факт ее расширения) отделилось когда-то и как-то от звезды. Это тем более интересно, что среди ядер со спектром типа Вольфа — Райе одни содержат углерод без азота, другие же содержат и углерод и азот, а в одном случае азот даже сильно преобладает. К сожалению, такое сравнение химического состава нелегко, в частности потому, что линии спектра туманности накладываются на линии спектра ядра, и без того малочисленные, и отделить их друг от друга трудно. Известно, что в солнечных протуберанцах аномально высоко содержание ионизованного кальция по сравнению с его содержанием в хромосфере, из которой они выбрасываются. Протуберанцы бывают водородные и металлические. Такого рода различие возможно и в планетарных туманностях.

## СВЕЧЕНИЕ И ПРИРОДА ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Спектр излучения газовых туманностей и то, что их яркость больше, чем яркость соседних звезд, которые можно было бы заподозрить как причину их свечения, отвергает возможность их свечения отраженным светом. Однако доказываемая спектром разреженность газа не допускает, чтобы он был раскаленным и вполне самосветящимся. Американцы Хаббл, Боуэн и Мензел, голландец Занстра и советский ученый В. А. Амбарцумян установили основные черты свечения и природы газовых туманностей.

Газовые туманности светятся до некоторой степени подобно тому, как светятся кометы или как газ в газосветной трубке. Их свечение вынужденное.

Вынуждают их к этому звезды: в планетарных туманностях — находящаяся в их центре, а в диффузных — находящаяся где-либо в них, либо даже

по соседству. Но такая звезда должна быть непременно очень горячей. Так оно и есть,— звезды, возбуждающие свечение газовых туманностей, имеют спектральный класс О или В0,— никак не более поздний, т. е. их температура 25—30 тысяч градусов. При таких высоких температурах в спектре этих звезд максимум энергии лежит в невидимой глазу ультрафиолетовой области. Туманность поглощает невидимые глазом мощные потоки ультрафиолетовых лучей, и затем ее атомы излучают поглощенную энергию в области видимых глазом лучей, например излучают зеленые линии. Минимальная порция света или квант видимых лучей содержит меньше энергии, чем квант ультрафиолетовых лучей. Поэтому в силу закона сохранения энергии, чтобы излучить то же количество энергии, какое было поглощено, туманность должна излучить *большее число* квантов, чем ею получено. Впечатление яркости, воспринимаемое глазом, зависит от числа квантов, падающих на него в секунду. Вот почему газовые туманности в видимых лучах светятся ярче, чем звезды, вызывающие это свечение. Энергия же излученных туманностью видимых лучей равна энергии поглощенных ею ультрафиолетовых.

Под действием высокой температуры звезды газы туманности ионизуются очень сильно, например, там наблюдается четырежды ионизованный кислород. Водород светится, когда его ионы захватывают пролетающие мимо свободные электроны. Запрещенные же линии кислорода излучаются после того, как атомы или ионы кислорода возбудятся за счет энергии столкновения с медленно летящими свободными электронами. Чтобы испустить зеленую линию «небулия», ион кислорода должен быть в возбужденном состоянии сколько ему полагается, а именно не менее нескольких минут. За этот период, следовательно, его не должны потревожить толчком ни кванты света, ни другие атомы, ни электроны. Чтобы столкновения были так редки, число частиц в единице объема (т. е. плотность газа) должно быть очень малым. Вычисления показывают, что плотность газовых туманностей

составляет $10^{-19}$—$10^{-22}$ *г/см*$^3$. При этой плотности от одного столкновения атома до другого проходят часы. Вследствие удаленности от звезды кванты ее света тоже летят далеко друг от друга и редко сталкиваются с ионами. Таким образом, у атомов есть все условия, нужные для излучения ими запрещенных линий, т. е. запрещенных в земных условиях, при большой плотности газов. В земных условиях атомы толкаются гораздо чаще, чем люди на толкучке, а в туманности по сравнению с этим они сталкиваются реже, чем бродячие музыканты встречались друг с другом. В воздухе молекулы от столкновения до столкновения проходят путь длиной в миллионные доли сантиметра, а в туманности длина, как говорят, такого «свободного пробега» измеряется миллионами километров.

Как мы говорили, масса колоссального объема газа, образующего планетарную туманность благодаря ее разреженности, составляет всего лишь одну сотую массы Солнца. Массы больших диффузных туманностей могут быть в сотни раз больше этого. О. Д. Докучаева, пользуясь теорией В. А. Амбарцумяна, оценила, например, массу туманности Ориона в 500 масс Солнца.

Очень часто диффузные газовые туманности перемешаны с пылевыми туманностями, светящимися отраженным светом, и даже с темными пылевыми туманностями. Не происходит ли кое-где сгущение газа в метеоритную пыль? На эту мысль наводят нас и другие соображения.

Некоторые планетарные туманности наряду с яркими линиями излучают и слабый непрерывный спектр. Казалось неправдоподобным, чтобы при большой прозрачности этих туманностей в них присутствовала в заметном количестве пыль, отражающая свет ядра. Эта загадка была решена в 1950 г. эстонским физиком А. Я. Киппером.

Еще раньше знали, что некоторые атомы могут совершить запрещенный переход, излучив не один, а два кванта сразу, причем сумма энергий этих двух квантов равна разности энергий двух соответствую-

щих уровней в атоме. Вероятность такого двухквантового перехода мала, но не слишком. В атоме водорода время жизни на одном из подуровней второго состояния составляет 0,12 *сек*. Переход с него в основное состояние дает двухквантовое излучение, но в разных случаях сумма энергий распределяется между двумя квантами неодинаково. Так, при наличии множества атомов излучаются подобным образом всевозможные кванты разных частот. В результате излучается непрерывный спектр. Его могут давать в меньшей мере и атомы гелия: нейтрального и ионизованного. Яркость свечения непрерывного спектра водорода пропорциональна населенности второго уровня, а последняя пропорциональна числу рекомбинаций протонов, следовательно, яркости водородных линий. Эта теория и количественно согласуется с наблюдениями, особенно, если учесть еще некоторые тонкости процесса и то, что при рекомбинациях водородных атомов излучается некоторый слабый непрерывный спектр (его излучают также электроны, тормозящиеся при пролете вблизи атомов, не способных, однако их захватить). Так загадка непрерывного спектра в газовых туманностях тоже была разрешена теорией.

## ДИФФУЗНЫЕ ГАЗОВЫЕ ТУМАННОСТИ

Газовые диффузные туманности, обычно весьма клочковатые, сильно концентрируются к галактическому экватору. Они бывают самых разнообразных размеров и неопределенных очертаний. Из них наиболее известны туманности Ориона (рис. 169 и на вклейке), Лагуна, Омега, Трехраздельная, Пеликан, Северная Америка. Но существуют и такие более ясно очерченные объекты с усилением яркости к периферии (периферические туманности), как Розетка. В ее середине находится рассеянное звездное скопление, состоящее из горячих звезд классов О и В. Существуют еще немногочисленные волокнистые туманности. Самая известная из них NGC 6960 и 6992, или Рыбачья сеть в созвездии Лебедя является,

однако, как полагают, остатком сверхновой звезды (рис. 170).



Рис. 169. Диффузные туманности в созвездии Ориона. (Фотография Д. Я. Мартынова.)

Фотографии, сделанные через красный светофильтр, подавляют свечение ночного неба и позволяют выявить в лучах красной водородной линии

очень слабые туманности. Много их открыл на Крымской обсерватории Г. А. Шайн со своими сотрудниками. Он, а также В. Г. Фесенков и Д. А. Рожковский издали прекрасные атласы фотографий этих объектов,

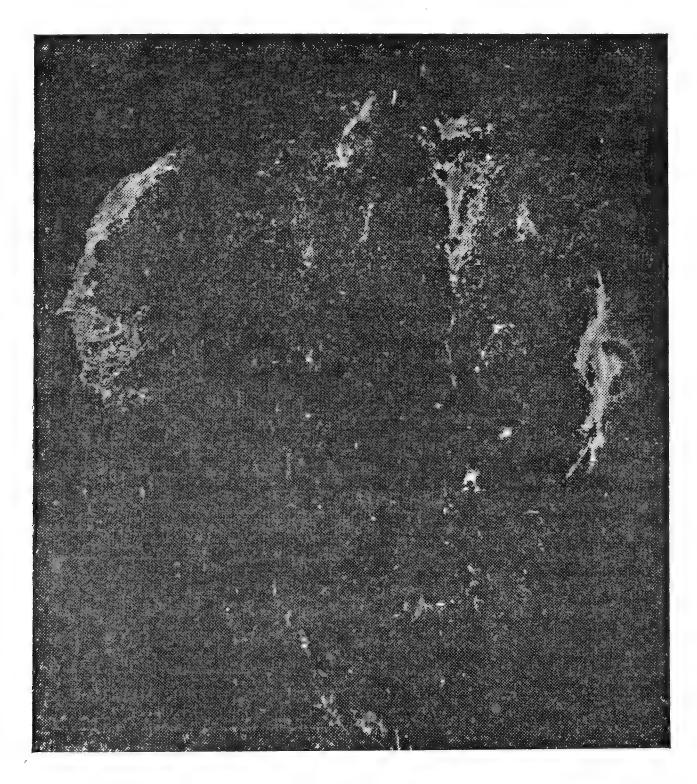


Рис. 170. Волокнистые туманности в созвездии Лебедя. (Фотография Д. Я. Мартынова.)

показывающие их тонкие детали, в которых можно видеть явные признаки турбулентных движений.

В туманности Ориона такие движения проявляются и в различии лучевых скоростей от места к месту.

Насчитывают около 300 диффузных газовых туманностей, но их число и размеры в каталогах весьма

произвольны в силу того, что часто встречаются комплексы туманностей и каждый такой комплекс можно считать одной туманностью; с другой стороны, можно считать самостоятельной туманностью каждую деталь сильно клочковатой, затейливой туманности.

Под туманностью Ориона, самой яркой, понимают обычно сияние, около одного градуса в поперечнике, окутывающее четыре звезды класса O, называемые «трапецией Ориона». Но слабые туманные области простираются и много дальше и окутывают почти все громадное созвездие Ориона.

Обширные области свечения с неопределенными границами часто встречаются в полосе Млечного Пути и называются водородными полями или областями H II, так как в них светится в основном ионизованный водород в процессе рекомбинации, как и в планетарных туманностях.

Хаббл давно доказал, что источником свечения газовых туманностей является облучение их ультрафиолетовым светом горячих звезд классов O и B0 — B1, но не более холодных. Так как температура этих звезд ниже, чем температура большинства ядер планетарных туманностей, то в них ионизация и возбуждение ниже: яркие ультрафиолетовые линии $\lambda\lambda$ 3727—3729 кислорода сильны, а зеленые линии кислорода слабы.

Звезда (или ряд звезд), возбуждающая свечение, бывает и внутри туманности, и на ее краю, и даже вне ее, поблизости. Поэтому, а также иногда вследствие удаленности от нас, установить, какая звезда вызывает свечение туманности, не удается. Такие звезды не найдены для ряда волокнистых туманностей, свечение которых имеет, может быть, даже другое происхождение.

Свечение диффузных туманностей и водородных полей так слабо, что получить их спектры удается только при помощи особо светосильных небулярных спектрографов. Лучевые скорости их того же порядка, что и у звезд, их освещающих, но возможно, что взаимная связь туманности со звездой временная и случайная, а не генетическая, как у планетарных

туманностей и их ядер, которые имеют большие пекулярные скорости, доходящие до 200 *км/сек*.

У диффузных туманностей скорости меньше и в основном свидетельствуют об их участии во вращении вокруг центра Галактики в плоскости Млечного Пути по орбитам, близким к круговым, тогда как планетарные туманности имеют, вероятно, более вытянутые орбиты и большие хаотические скорости.

В своей совокупности диффузные газовые туманности и водородные поля образуют клочковатый слой газа, толщиной около 200 парсек (около 600 световых лет), в плоскости галактического экватора. Этот слой совпадает со слоем горячих гигантов и без них газовые облака не светились бы.

Горячий гигант внутри облака газа вызывает его свечение только в соответствии с размером обусловленной им зоны Стремгрена (зоны полной ионизации водорода). Вне ее газ невидим, и, вероятно, большинство светлых туманностей окружено зонами невидимого нейтрального водорода. По аналогии с диффузными туманностями, видимыми в ближайших к нам спиральных галактиках поздних типов и в нашей Галактике, считают, что они располагаются вдоль спиральных ветвей. Поэтому локализацию спиральных ветвей нашей Галактики стараются установить прежде всего по расположению в ней горячих гигантов и диффузных туманностей. Но часто забывают, что эти данные не независимы, так как за расстояние до туманностей принимают расстояние до звезд, возбуждающих их свечение и иногда, может быть, неверно признанных за таковые. Другого способа определения расстояний до диффузных туманностей нет.

Расстояние до горячих звезд оценивается довольно приблизительно из сравнения принятой для них абсолютной звездной величины с видимой звездной величиной. Абсолютные величины установлены еще не очень уверенно. Требуется также учесть влияние межзвездного поглощения света вблизи галактической плоскости и на большом протяжении. Этот учет еще неточен. Некоторое различие в пространственном распределении горячих гигантов и диффузных

туманностей состоит в том, что иногда в местах большого скопления гигантов туманностей нет.

Массы диффузных туманностей определяют, анализируя «меру эмиссии». Так называют произведение $n_e^2 \times l$, где $n_e$ — электронная концентрация, а $l$ — предполагаемая толщина туманности в парсеках. Следовательно, эта величина, пропорциональная поверхностной яркости, характеризует число атомов водорода на луче зрения в столбике сечением 1 *см*$^2$ с длиной, равной толщине туманности.

Определив электронную температуру или приняв ее за 8000°, по мере эмиссии находят $n_e$, подставляя принятое значение $l$. Можно обнаружить свечение с мерой эмиссии, равной всего лишь нескольким десяткам. Плотности диффузных туманностей обычно оказываются в пределах от десятка до сотни электронов (протонов) на 1 *см*$^3$, а в центре туманности Ориона плотность доходит до 1000 и больше, но в общем плотности их ниже, чем в планетарных туманностях. В водородных полях плотность падает до $n_e = 1$.

Умножая массу протона на $n_e$ и на объем туманности (иногда условный), получаем массу последней. Первые такие определения были сделаны в лаборатории автора О. Д. Докучаевой для туманности Ориона и Д. П. Гук для туманности Омега. Получились массы 166 и 515 масс Солнца соответственно. Позднее Г. А. Шайн, В. Ф. Газе и другие нашли, что массы отдельных туманностей колеблются от 0,1 до сотен масс Солнца, а массы комплексов составляют тысячи масс Солнца. Наименьшие диффузные туманности близки по массе к планетарным. Что касается размеров, то они у диффузных туманностей колеблются от долей парсека до десятков парсек.

В газовых туманностях иногда наблюдается и непрерывный спектр той или иной интенсивности. Иногда он, несомненно, принадлежит пыли, особенно когда на фоне туманности видны темные прожилки, как в Трехраздельной туманности. В туманности Ориона много пыли; это видно из того, что погруженные в нее горячие звезды, как говорят, сильно покраснены. При такой плотности пыли на протяжении парсека

она производила бы поглощение в 10 звездных величин!

В одних туманностях пыли больше, в других меньше, иногда одна часть туманности пылевая, другая газовая. Отсутствие следов газового спектра во многих пылевых туманностях не означает еще, что в них газа нет. Освещающие их звезды B1 и более поздних классов не могут вызвать нужную ионизацию и свечение газа, но все же его в пылевых туманностях мало, так как согласно расчетам даже при плотности $n_e=10$—15 звезды B2—B3 вызвали бы заметное свечение газа. Но неясно обратное: почему нет чисто отражательных туманностей, освещенных звездами классов O и B0?

Во многих газовых туманностях, как показали наблюдения и расчеты Г. А. Шайна и С. Б. Пикельнера, непрерывный спектр обусловлен не пылью, а двухквантовыми переходами, как в планетарных туманностях, тогда как раньше этот спектр приписывали пыли. В ярких газовых туманностях, может быть, и есть пыль, но она светится отраженным светом так слабо, что ее непрерывный спектр не заметен на фоне яркого спектра, вызванного двухквантовыми переходами в газе.

Большие массы диффузных туманностей посылают весьма заметное тепловое радиоизлучение.

Много исследований посвящается сейчас газодинамическому исследованию судьбы диффузных туманностей. Тяготение может, конечно, удерживать от рассеяния большую массу холодного газа. Но в Галактике все находится в движении.

Недостаточное знание распределения плотностей и других условий в реальных туманностях, их разнообразие, различия в постановке и решении теоретической задачи не привели пока к однозначным выводам о том, рассеиваются ли диффузные туманности, либо в них происходит конденсация. Наблюдения также пока еще не могут ответить на этот вопрос. Согласно некоторым работам холодный газ может конденсироваться в звезды и в пылинки, если имеются ядра конденсации в виде сложных тяжелых

молекул или иные. Горячий, ионизованный газ конденсироваться никак не может.

Зародыши пылинок, сталкиваясь друг с другом и с атомами холодного газа, могут в одних случаях сливаться и расти, в других случаях испаряться. Это влияет и на плотность окружающего газа. Получается очень сложная картина, в которой большое внимание привлекают вторжения темной материи в светлые области ионизованного газа. При этом свечение по периферии темной массы усилено, образуя светлый, резкий ободок вдоль ее края, всегда обращенного к звезде. Особенно узкие клинья темных вторжений получили за свой вид название «слоновые хоботы».

Плотность ионизованного газа в светлом ободке сильно повышена, а темная область содержит холодный газ, перемешанный с уплотненной пылью. Теоретическая трактовка описанного явления опирается на то, что когда горячая звезда облучает холодный газ, то ионизация в нем распространяется быстрее, чем волна давления нагреваемого газа. Светлый ободок получается, когда ионизационный фронт подходит к плотному облаку газа со стороны горячей звезды. Если на пути фронта встречается область очень большой плотности, она остается неионизованной, и фронт огибает эту флуктуацию. Это и приводит к включениям областей H I в области HII в виде «слоновых хоботов». Сжимание холодного газа в области «слонового хобота» давлением газа зоны H II может привести к полной изоляции газового сгустка и дать начало возникновению глобулы. Сжатие глобул горячим газом и образование в них так называемой кумулятивной сходящейся ударной волны облегчают их гравитационную конденсацию.

Особый случай представляют собой волокнистые туманности округлых очертаний в целом, вроде Рыбачьей сети в созвездии Лебедя. Но они очень немногочисленны и, по-видимому, являются результатом вспышек сверхновых звезд. О них мы уже рассказывали. Но волокнистость часто проявляется в туманностях, вытянутых обычно вдоль Млечного Пути. Эта вытянутость не может объясняться действием

различия в скорости обращения туманностей около центра Галактики на разных от него расстояниях. По-видимому, вытянутость туманностей обусловлена характером магнитного поля Галактики, силовые линии которого лежат в ее плоскости и вдоль спиральных ветвей.

Г. А. Шайн нашел подтверждение этому предположению, сопоставляя направления вытянутостей туманностей с данными о поляризации света звезд. Магнитное поле допускает движение газа вдоль силовых линий и тормозит движение поперек них. При расширении туманности она и растекается вдоль линий поля, вдоль спиральной ветви. Сдерживающее действие магнитного поля, сгущение силовых линий в одних местах и их разрежение в других местах, по-видимому, и обусловливают волокнистую структуру больших туманностей, вытянутых вдоль Млечного Пути. Ионизованный проводящий газ удерживает в себе силовые линии поля и перемещается вместе с ними. При сильных хаотических движениях силовые линии вместе с потоками газа запутываются, напряжение поля усиливается, а вместе с ним уплотняются газовые потоки, что, вероятно, и создает волокнистую структуру в обширных газовых туманностях, как, например, в созвездии Лебедя.

## ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ

Более внимательное изучение фотографий, на которых планетарные туманности видны лучше, показывает, что одни из них выглядят как равномерно светящиеся или как пятнистые диски, другие имеют вид колечка или колечка на фоне диска. Реже встречаются более сложные и даже загадочные формы, но, как правило, планетарная туманность симметрична и резко очерчена. Угловой диаметр самых гигантских планетарных туманностей составляет половину углового диаметра Луны, т. е. 1/4 градуса. Некоторые из них, более примечательные, получили забавные названия по сходству с чем-либо: Сова, Эскимо, Сатурн. Многие планетарные туманности так малы, что даже

в наибольший телескоп неотличимы от звезды. Как же их тогда обнаруживают? Решает дело спектр.



Рис. 171. Планетарная туманность в созвездии Лисички. (Фотография автора.)

Спектры подавляющего большинства звезд непрерывные, с темными линиями. Во всяком случае, они содержат обычные линии известных химических элементов. Спектры же газовых туманностей — это спект-

ры разреженных газов; они содержат так называемые запрещенные линии, не наблюдаемые в земных лабораториях, и возникают лишь в крайне разреженных газах при условии, что газ облучают очень разреженные потоки света. Об этом мы уже говорили в разделе «История двух незнакомцев».

Среди запрещенных линий, наблюдаемых только в газовых туманностях, первыми были замечены самые яркие — две зеленые линии, которые были приписаны неизвестному газу, имеющемуся только в туманностях. От латинского слова «небула» (туманность) этот газ получил название *небулий*, а его линии называют небулярными. В планетарных туманностях зеленые линии небулия ярче, чем сине-зеленая линия бальмеровской серии водорода $H_\beta$. Это их и выдает.

До второй мировой войны было открыто всего лишь около полтораста планетарных туманностей. Сейчас их известно уже более 700.

В 1887 г. Дрейер в Англии составил каталог, содержащий почти 8 тысяч звездных скоплений и разных туманностей. Туманности часто обозначаются номерами по этому каталогу, например NGC 6720, где NGC есть сокращенное обозначение «Нового генерального каталога» Дрейера. Дополнение к нему, опубликованное в 1894 и 1908 гг., обозначается IC.

В каталоге Дрейера в основном содержатся галактики, которых тогда не умели еще распознавать. Находить в нем немногочисленные планетарные туманности, где к тому же о них нет необходимых и известных сейчас сведений, крайне неудобно. Кроме того, в нем нет множества туманностей, открытых позднее. Поэтому автор этой книги, начиная с 1931 г., составлял уже три раза специальные каталоги планетарных туманностей, дающие о них все важнейшие сведения — положение на небе, размер, яркость, физические свойства и т. д. Из этих трех каталогов последний содержит около 600 туманностей и в литературе сокращенно обозначается VV. Некоторые планетарные туманности имеют еще другие обозначения, на которых мы останавливаться не будем.

Как их открывают? Фотографировать спектр каждой слабой звезды обычным спектрографом, чтобы узнать, не планетарная ли это туманность — безнадежно долгое занятие. Ведь известные ранее планетарные туманности имеют суммарный блеск звезд от 7-й до 13—14-й звездной величины. Звезд же 15-й звездной величины уже около 15 миллионов, а более слабых еще больше.

Для обнаружения планетарных туманностей часто применяют объективную призму. Это призма с углом преломления 3—7°, которую ставят теперь перед светосильным телескопом с отверстием 25—60 *см*. Он охватывает площадь неба порядка $3 \times 5^\circ$ и фотографирует в виде ниточек спектры всех звезд, которые при данной экспозиции оставляют в определенной области неба свой след. Получаются сразу ниточные спектры сотен звезд, среди которых спектры планетарных туманностей сразу выделяются тем, что они выглядят как цепочка бусинок. Бусинки — это монохроматические изображения планетарной туманности в лучах небулярных, водородных и других линий (см. рис. 168). От очень слабых планетарных туманностей получается только одно изображение самой яркой линии, которой бывает либо главная зеленая линия небулия, либо красная водородная линия $H_\alpha$. Немало таких туманностей было открыто в Абастуманской обсерватории в Грузии.

Большие туманности с низкой поверхностной яркостью открывают по снимкам, полученным со светосильными телескопами, применяя иногда красный светофильтр, который ослабляет мешающий выявлению туманностей фон ночного неба.

Из-за малости масштаба снимков, на которых делаются эти открытия, для большинства из найденных 700 планетарных туманностей известно, и то с недостаточной точностью, их положение на небе, да в лучшем случае их суммарный блеск. О диаметре же их, структуре, линиях спектра ничего не известно, и наши сведения опираются пока на наблюдение полусотни наиболее ярких или крупных объектов.

В центре достаточно крупных планетарных туманностей обычно видна слабая звездочка. Как правило, она слабее, чем суммарный блеск ее туманной оболочки. На основе известной сейчас причины свечения туманностей можно утверждать, что в каждой из них есть такая звездочка — ядро. Оно невидимо лишь из-за слабости блеска. Изучать ядра еще труднее, чем сами туманности, так как они редко бывают ярче $10^m$, часто $16^m$—$18^m$ или вообще невидимы.

Спектры ядер бывают трех видов: класса O с темными линиями, типа Вольфа — Райе с яркими полосами и непрерывные, без всяких линий. Последнее может быть обусловлено как крайне высокой температурой, так и очень сильным эффектом Штарка (расширения спектральных линий в межатомных электрических полях), если атмосферы ядер очень тонки и сильно уплотнены. Таким образом, ядра являются, судя по типу их спектра, такими же горячими, как и самые горячие из обычных звезд. Ядра изучены пока еще мало. По наполовину гипотетическому расчету автора этих строк, основанному на статистике распределения планетарных туманностей в пространстве, масса ядер составляет в среднем около двух масс Солнца. Это много меньше, чем масса обычных звезд класса O и даже Вольфа — Райе.

Замечательное явление обнаружено в гигантской туманности NGC 7293, сфотографированной 5-метровым телескопом в красных лучах водорода. Вероятно, она наиболее близка к нам. Расстояние до нее едва ли больше 100 парсек, т. е. 300 световых лет. Поэтому только в ней пока и обнаружены сотни тончайших волокон, направленных строго радиально к ядру. Эти волокна, по-видимому, и составляют внутреннюю, более яркую половину ее кольца, но они наблюдаются и внутри него на темном фоне внутренности кольца, далеко не доходя до ядра. Толщина совершенно прямых волокон около $1'',5$— на пределе разрешения телескопа, а длина порядка 1000 астрономических единиц. Эти тончайшие волокна, однако, грандиозны, если учесть расстояние до туманности. Их толщина вдвое больше, чем диаметр орбиты

планеты Плутон, а длина составляет около светового месяца. Природа и происхождение волокон еще совершенно не известны. Несомненно, что они имеют самое прямое отношение к формированию оболочки и как-то связаны с ее ядром.

В общем планетарные туманности имеют простые очертания и четкий край. Однако это не всегда так. Например, туманность NGC 2440 затейливо хаотична. На ее периферии много растрепанных волокон. Увеличение экспозиции превращает ее в значительно бóльшую по размерам и более правильную туманность, по очертаниям сходную с бабочкой. Наконец, передержанное изображение рисует ее как почти правильный эллипс с совершенно резким и ярким краем.

Туманность в Лире NGC 6720 сотни лет была известна как кольцевая с резким краем (см. цветной рис. в конце книги). Снимки 1964 г. показывают у нее вторую, внешнюю, очень слабую оболочку и третью оболочку с неровным краем, еще более слабую. В результате диаметр туманности «стал» в 2,5 раза больше.

У некоторых планетарных туманностей еще раньше были обнаружены очень слабые придатки, иногда в виде тонких и слабых прямых или эллиптических, иногда в виде спиральных волокон, как у NGC 650-1. При малой экспозиции она выглядит как неправильный четырехугольник, а при большой экспозиции волокна на ее краях похожи на «рукоятки», как бы приделанные к ней. Ионизация в придатках и волокнах меньше, чем в основной массе туманности. Они излучают преимущественно в лучах водорода и ионизованного кислорода.

Особо следует обратить внимание на ярко выраженную волокнистую структуру ряда дискообразных туманностей. Волокна коротки, имеют вид червячков и соответствуют местным уплотнениям газа. В промежутках между ними излучение слабо, что создает эффект так называемой скважистости. В промежутках между волокнами излучение ядра может уходить в пространство не использованным для свечения туманности. Это затрудняет определение истинной средней плотности и массы туманностей при применении

некоторых методов. Когда в какой-либо части туманности плотность вдвое больше, то излучение в запрещенных линиях там больше вдвое, а в линиях водорода больше вчетверо. Считают, что оболочка туманности заполнена газом на 30—70 %, но в разных туманностях эта величина должна быть различна.

## РАСШИРЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Одним из важнейших свойств планетарных туманностей является их расширение, открытое благодаря изучению линий их спектров, полученных с большой дисперсией. Когда дисперсия спектрографа достаточно велика, а линия спектра имеет заметную ширину, то можно изучить структуру планетарной туманности. При этом вскрываются важные дополнительные данные.

Если щель спектрографа покрывает целиком изображение туманности по диаметру, то линия спектра оказывается расщепленной посередине. С удалением щели от центра расщепление уменьшается, и на краях диска обе компоненты линии сливаются в одну. По малой ширине компонент расщепленной линии можно судить, что в слое газа, образующем оболочку туманности, скорости молекул соответствуют тепловым скоростям и что в туманности нет заметных турбулентных движений. Расщепление же всех линий спектра в середине можно объяснить только радиальным расширением туманности, которая представляет собой оболочку, полую внутри и прозрачную для собственных излучений. Эта прозрачность обусловлена крайне малой плотностью оболочки. Прозрачность планетарных туманностей в общих лучах видна из следующего факта: сквозь гигантскую планетарную туманность в созвездии Водолея NGC 7293 (Хеликс) видны далекие галактики.

При расширении центр поверхности полусферы, обращенной в нашу сторону, приближается к нам, а лучевая скорость его равна скорости расширения. Центр поверхности противоположной полусферы при расширении удаляется от нас, а его скорость по лучу

зрения тоже равна скорости расширения. В этой точке линия спектра смещена максимально к красному концу спектра, тогда как от центра передней полусферы точка линии смещена максимально к

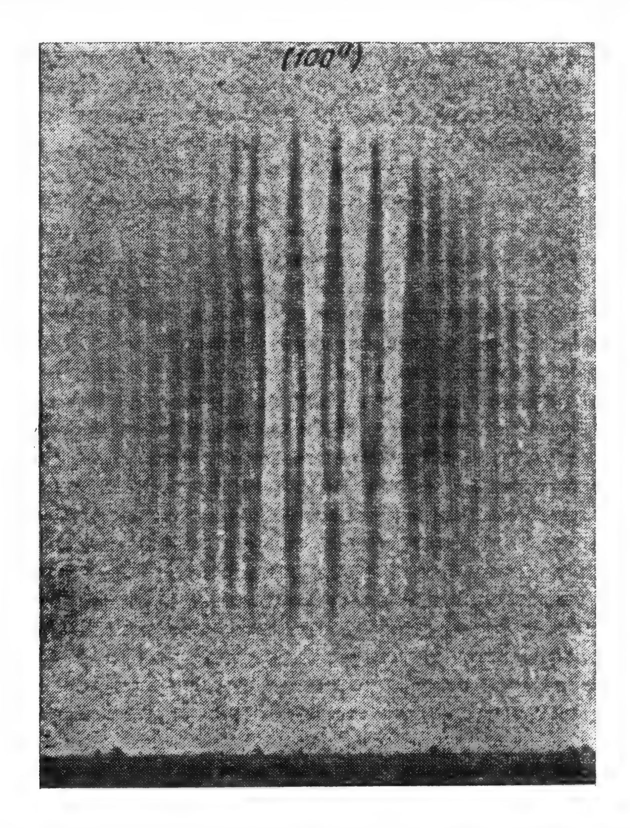



Рис. 172. Расщепление линии спектра в расширяющейся планетарной туманности.

синему концу спектра. Таким образом, половина расстояния между компонентами расщепленной линии, т. е. полуширина всей линии, соответствует истинной скорости расширения. В соответствии с принципом Доплера эта полуширина раздвоенной линии, выра-

женная в разности длин волн в ангстремах, может быть пересчитана в скорость, выраженную в километрах в секунду. Дальше от видимого центра скорость расширения направлена под углом к лучу зрения. Ее проекция на луч зрения меньше и смещение спектральной линии от нормального положения тоже меньше.

На краях видимого диска туманности скорость расширения перпендикулярна к лучу зрения и соответствующие точки линии спектра занимают нормальное положение. Впрочем, и эти точки смещены от нормального положения на величину, соответствующую скорости движения по лучу зрения всей туманности как целого. Эти лучевые скорости имеют также немалое значение для изучения туманностей, тем более, что вследствие удаленности от нас туманностей при движении они почти не перемещаются по небу. Вследствие этого полная (пространственная) скорость их определяется неточно. Если бы туманность не была совершенно прозрачной для собственных излучений из-за своего крайнего разрежения, мы не наблюдали бы красной компоненты расщепленной линии, образованной удаляющейся полусферой туманности.

Когда скорость расширения мала и величина расщепления линии лишь не намного превосходит ширину компонент, обусловленную тепловым, хаотическим движением атомов в оболочке, то вместо явного расщепления наблюдается лишь расширение линий. Если толщина или плотность передней и задней полусферы сильно различаются, то интенсивности компонент расщепленной линии заметно различны.

Заметим, что общего наклона спектральных линий с достоверностью не обнаружено, что говорит об отсутствии у планетарных туманностей заметного вращения вокруг оси. Если бы туманности вращались, то в силу закона сохранения момента количества вращения в ранних стадиях расширения, когда туманность была в тысячи раз меньше, чем теперь, ее вращение было бы таким быстрым, что она вообще не могла бы существовать.

Что касается самих скоростей расширения, то в исследованных случаях они составляют 15—30 *км/сек*, достигая максимума 53 *км/сек* у NGC 2392. У туманностей малого углового размера расширение обнаружить нельзя.

Общая картина расширения, выводимая из вида спектра, осложняется в деталях. У некоторых туманностей, особенно у IC 418, существует общее уменьшение скорости расширения с ростом потенциала ионизации данных атомов, т. е. с ростом энергии, нужной для их ионизации. В то время как одни газы почему-то быстро расширяются со скоростью до 23 *км/сек*, другие, например водород, совсем не показывают расширения. Между тем и эта зависимость имеет исключения. Например, некоторые атомы с таким же потенциалом ионизации, как водород, удаляются от звезды со скоростью 10 *км/сек*. У других планетарных туманностей все газы в оболочке движутся наружу одинаково. Эти различия от туманности к туманности и от одного сорта атомов к другому, вместе с незнанием иногда точного их относительного распределения в оболочке, мешают дать всем этим фактам окончательное объяснение. Вероятно, описанные детали связаны с различием силы светового давления для разных атомов, со степенью их перемешанности или разделения в пространстве, с температурой ядра, а может быть, и с начальными условиями расширения.

Естественно желание проверить непосредственно расширение планетарных туманностей, установленное по спектру. Для этого надо обнаружить угловое увеличение диаметра туманностей. Наиболее обстоятельна последняя работа Лиллера и его сотрудников в США. Они сделали снимки некоторых туманностей, у которых, по расчету автора этих строк, сделанному еще в 1948 г., можно было ожидать наиболее заметное угловое расширение. Эти снимки они сравнили со снимками, сделанными на том же телескопе лет на 60 ранее.

В восьми случаях угловое расширение оказалось меньше ожидаемого, а в шести случаях вообще отсут-

ствует и не может быть объяснено ошибкой в оценке расстояния до туманностей, но может объясняться предположением о поддержании плотности туманности за счет выброса вещества ядром (заметим, что ошибки, неизбежные при измерении любых малых величин, скорее бы преувеличили изменение диаметров туманностей, а не преуменьшили). В одном случае, по-видимому, наблюдается согласие углового и линейного расширений и зависимость расширения от расстояния вещества от ядра. При другой оценке расстояния опять требуется привлечение гипотезы пополнения массы оболочки непрерывным истечением газа из ядра.

Хотя масса ядер туманностей и неизвестна, а расстояния до них, а следовательно, и размеры оболочек известны неточно, несомненно следующее. Скорости расширения в 10 *км/сек* и более превосходят в оболочке скорость отрыва ее от ядра. Тяготение к ядру не может остановить их расширение, и они расширяются практически с постоянной скоростью. Несомненно также, что при постоянстве этой скорости уже через несколько десятков, максимум сотен тысяч лет оболочка планетарной туманности настолько расширится, что перестанет быть видимой и рассеется в пространстве. Итак, планетарные туманности, как впервые отметил автор этих строк еще в 1931 г., являются поставщиками рассеянного газа в мировое пространство.

Интересен также другой вывод. Очевидно, $10^4$—$10^5$ лет назад расширяющаяся оболочка была размером со звезду, т. е. еще только отделилась от ядра и начала расширяться. Значит, в космическом смысле планетарные туманности — очень молодые образования, они возникли совсем недавно, они моложе даже, чем сверхгиганты, возраст которых оценивают в $10^6$—$10^8$ лет. Сверх того, планетарные туманности эфемерны, их жизнь очень коротка. Эти космические мотыльки «живут» не более чем $10^5$—$10^6$ лет. Это не значит, однако, что их ядра также эфемерны. Это могут быть старые звезды, которые будут светить, заметно не меняясь, еще долго после того как их

оболочка рассеется. Впрочем, если иногда межзвездная среда тормозит расширение туманностей или если ядро пополняет оболочку газом, жизнь планетарной туманности может затянуться.

## ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ И ИХ ЯДЕР

Температуру ядер планетарных туманностей нельзя определить способами, применяемыми к обычным звездам, потому что линии их спектра часто либо ярки и широки либо плохо видны, либо совсем не видны. По распределению энергии в непрерывном спектре температуру горячих ядер тоже нельзя определять, так как это распределение в видимой области спектра мало меняется с температурой.

Занстра указал на возможный способ определения температуры ядра. Идея его состоит в том, что яркость туманности в видимых линиях спектра отвечает энергии в далеком ультрафиолетовом спектре ядра,— там, где кванты достаточно мощны, чтобы ионизовать атомы оболочки туманности и отрывать от них электроны при столкновении. Так, по яркости туманности в видимых линиях водорода можно определить яркость далекого ультрафиолетового участка спектра ядра с длиной волны короче 912 Å (более длинноволновые кванты уже не могут ионизовать водород). Сравнение числа этих квантов с числом квантов в видимой области спектра ядра позволяет уже точно определить температуру его, если ядро излучает как абсолютно черное тело (для последнего распределение энергии во всем спектре в зависимости от температуры известно теоретически).

Недавно Г. С. Хромов использовал размеры зон ионизации разных атомов и из них получил значения энергии в трех точках ультрафиолетового спектра ядра. Исходя из этих значений энергии и применив формулу Планка, он получил температуру, характеризующую ультрафиолетовый участок спектра, около 150 000°. В более длинноволновой области спектр ядра представится формулой Планка для более низкой температуры. В 1965 г. сотрудница лаборатории

автора Р. И. Носкова нашла хорошее соответствие видимой части спектра десятка ядер формуле Планка при температурах от 15 до 65 тыс. градусов.

Вопрос о температуре ядер остается еще плохо разработанным. Надо ожидать большой ее дисперсии, потому что ядра со спектрами поглощения O9—O5, вероятно, имеют такие же температуры, как обычные звезды этого класса, т. е. не выше 35 000°.

Автор этих строк еще много лет назад нашел, что температуры ядер со спектром Вольфа — Райе выше, чем ядер со спектром классов O9—O5. Самые высокие температуры находят у ядер с непрерывным спектром, не имеющим никаких линий — ни темных, ни ярких. Первое согласуется с тем, что мы имеем для обычных звезд O и Вольфа — Райе, а горячие звезды с непрерывным спектром, помимо ядер планетарных туманностей, неизвестны, если не говорить о двух-трех белых карликах.

Каковы бы ни были окончательные данные о расстоянии отдельных конкретных планетарных туманностей, незыблемым остается вывод, сделанный еще 35 лет назад при первых оценках расстояния до этих объектов, о том, что светимости ядер в среднем гораздо ниже, чем светимости обычных горячих звезд с такими же спектрами и температурами, но не имеющих обширных туманных оболочек. Более того, учитывая бесспорно большую дисперсию светимости ядер, можно было сказать, что по крайней мере некоторые ядра сходны с белыми карликами типа спутника Сириуса.

Ядра еще более сходны с бывшими новыми звездами и по температуре, и по спектру, и по светимости. Их правильнее было бы даже назвать, как я предлагал, голубыми или ультрафиолетовыми карликами. Массы их не могут быть меньше массы Солнца, а светимости некоторых из них во много раз меньше, чем у Солнца, следовательно, при высокой температуре их объемы много меньше, чем у Солнца, а плотности громадны. Последние, вероятно, приближаются к плотностям белых карликов, хотя, может быть, и не достигают их.

Привести точные числовые данные их физических характеристик мы не можем ввиду ненадежности всех данных. В частности, неизвестны те поправки, которые надо придать к их видимой (визуальной или фотографической) светимости, чтобы получить их болометрическую светимость, выражающую их суммарное излучение во всех длинах волн. Причина этого в отклонении их излучения от законов излучения черного тела. По-видимому, болометрические светимости ядер имеют гораздо меньшую дисперсию светимостей, чем их фотографические светимости.

При большом напряжении силы тяжести на поверхности белых карликов в их спектрах, как известно, наблюдается смещение линий к красному концу, предсказываемое теорией относительности. Можно ожидать такого эффекта и у карликовых ядер туманностей. Для его обнаружения надо сравнивать длины волн спектра ядра с длиной волны концов тех же линий в спектрах оболочек (так как в середине линии расщеплены расширением). Такое сравнение практически трудно. В двух случаях результат оказался отрицательным, а у одной туманности красное смещение в ядре измерено, но полученные данные не заслуживают большого доверия. Значительное красное смещение не обязательно, так как линии спектра ядра могут возникать и на большой высоте в его атмосфере, где напряжение силы тяжести меньше и ядро может быть не очень малого радиуса.

Автор этих строк в двух случаях обнаружил изменения интенсивности линий спектра туманности, что можно объяснить только изменениями температуры ядра, вероятно, временнóго характера. Это указывает на возможность и быстрых эволюционных изменений ядер. Такие изменения, если они есть, существенно повлияют на картину эволюции и оболочки ядра, о которой скажем ниже. Колебаний блеска ядер или их двойственности пока не обнаружено с достоверностью.

Выяснение причины расширения и возможных изменений его со временем представляет сложную задачу. Предполагалось, что давление света со сто-

роны ядра и вызывает расширение (оно различно для разных ионов). Теперь эти расчеты вызывают сомнения.

Более существенной является, по-видимому, роль газового давления. Скорости расширения близки к тепловым и к скоростям расширения газа в пустоту. Г. А. Гурзадян ввел впервые в рассмотрение гипотезу о большой роли магнитного поля внутри туманности, которое влияет на распределение и движение газов. Его теория встретила критику, но нам представляется, что без допущения магнитного поля многие детали структуры планетарных туманностей объяснить нельзя.

Обычно принимается, что планетарная туманность неограниченно расширяется; при этом ее светимость и поверхностная яркость очень быстро уменьшаются. Через несколько десятков или сотен тысяч лет она перестает быть видима и ее оболочка рассеивается в окружающем межзвездном пространстве.

Остается ядро — голубой карлик, если к этому времени оно не успевает изменить свои характеристики. Однако мы уже отмечали выше, что торможение межзвездной средой и другие факторы могут замедлить скорость эволюции, но насколько, сказать трудно.

Существенно, как это впервые еще 35 лет назад показали расчеты автора, что расширение большого числа планетарных туманностей является непосредственно наблюдаемым фактом рассеяния в пространстве газов, ранее входивших в состав ядер, т. е. звезд.

Из каких звезд и почему возникают планетарные туманности, пока совершенно не ясно. Попытки видеть в стадии, предшествующей планетарным туманностям, некоторые типы холодных переменных звезд, вспышки новых звезд или же выбрасывающие газ звезды Вольфа — Райе пока не убедительны. В двух последних случаях скорости выброса оболочек или постоянного истечения газа слишком велики, чтобы создать медленно расширяющуюся планетарную туманность. Но несомненно (по подсчету автора), что

за срок существования Галактики планетарные туманности наполнили ее количеством газа, составляющим заметную долю от всех газов, наблюдаемых в Галактике сейчас. До сих пор «спорят» две гипотезы: возникают ли звезды из сгущения диффузной материи или, наоборот, они происходят из сверхплотного вещества. Между тем то, что диффузная материя хотя бы частично порождается звездами, уже стало общепризнанным фактом.

### МЕЖЗВЕЗДНЫЙ ГАЗ

Газ, всюду газ! Собранный в гигантские раскаленные шары, он образует бесчисленные звезды— в них сосредоточена главная масса вещества во Вселенной. Разреженный холодный газ, заполняющий огромные пространства в виде газовых туманностей, обволакивающий десятки звезд, газ, образующий атмосферы планет! И все это в безвоздушном пространстве. Но подлинно ли в безвоздушном?

Наши понятия о вакууме, о безвоздушном пространстве относительны. В электрической лампочке старого типа «нет воздуха», говорим мы, он оттуда выкачан. Сравнительно с комнатным воздухом там вакуум. Но физик с помощью своих лучших насосов может так выкачать воздух из какой-либо стеклянной трубки, что по сравнению с пространством в ней пространство внутри электрической лампы кишит мириадами молекул.

Газовые диффузные туманности с их плотностью порядка $10^{-19}$ *г/см*$^3$ раскинулись в безвоздушном пространстве. Но и оно, как мы убеждаемся, не совершенно пусто, в нем тоже есть газ. Газ ничтожной плотности, но все же газ, и между любыми двумя звездами есть газовая среда, как бы разрежена она ни была.

Но какой это газ? Это, конечно, не земной воздух, хотя бы и разреженный. История изучения этого газа принесла много интересного и неожиданного.

В 1904 г., изучая спектрально-двойную звезду Дельту Ориона, Гартман для большей точности опре-

деления ее лучевой скорости измерял положение в спектре всех темных линий, которые в нем были видны. Ведь если звезда движется как целое по своей орбите около центра тяжести системы, то *все* линии ее спектра должны смещаться одинаково в том смысле, что в пределах ошибок измерения смещение любой линии спектра должно соответствовать одной и той же скорости приближения или удаления от нас. Мы уже

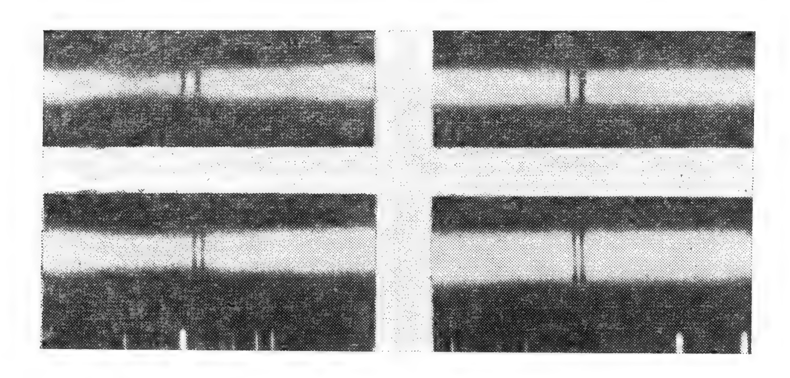


Рис. 173. Линии межзвездного кальция.

знаем, что при таком *периодическом* орбитальном движении линии спектра *периодически* же изменяют свое смещение. В спектре Дельты Ориона все линии вели себя «как следует», кроме линий ионизованного кальция. Эти две линии почему-то не участвовали в общем периодическом колебании положения линий в спектре, а упрямо стояли на месте. Неслась ли звезда на нас, удалялась ли она от нас в данный момент — линиям кальция это было безразлично.

Упрямые линии принадлежали атомам кальция, и Гартману ничего не оставалось, как заключить, что кальций почему-то не участвует в орбитальном движении звезды. Раз линии кальция видны как темные (в поглощении), то, очевидно, свет звезды проходит через него, поглощается в нем, но этот элемент не находится в атмосфере звезды, вызывающей появле-

ние в спектре остальных линий поглощения. Атмосфера звезды движется вместе со звездой, кальций же с ней не движется. Быть может, наша двойная звезда погружена в обширное облако разреженного кальция, в котором она и движется, не увлекая его с собой?

Такого рода линии кальция назвали стационарными, т. е. неизменными, неподвижными. В дальнейшем в спектрах многих других спектрально-двойных звезд были открыты стационарные линии кальция, но лишь в тех случаях, когда звезды были раннего спектрального класса B.

Слайфер, однако, нашел более вероятным, что стационарные линии производятся не облаком кальция, в которое погружена звезда, а облаками кальция или его непрерывной массой, расположенной на всем пути луча света от звезды к нам. Другими словами, кальций не околозвездный, а межзвездный газ. Этот взгляд был подтвержден. Тогда вместо «стационарные линии» стали говорить «межзвездные линии».

Выяснилось это так. Когда стало известно, что температура атмосферы звезды определяет вид ее спектра, стало возможно теоретически определять интенсивности разных линий, создаваемых атмосферой звезды определенного химического состава и определенной температуры. Выяснилось, что такие горячие звезды, как звезды класса B, не содержат в своей атмосфере атомов ионизованного кальция — для них там слишком горячо. Весь кальций там уже дважды ионизован, и его линий в спектре быть не может. Значит, ионизованный кальций, производящий в спектре горячих звезд стационарные линии, должен быть далеко от звезды, там, где не так горячо и где он может существовать.

Затем обнаружилось, что вовсе не одни лишь спектрально-двойные звезды обнаруживают эти линии кальция,— он есть в спектрах большинства горячих одиночных звезд. Там его линии вообще нельзя назвать стационарными, потому что одинокая звезда не совершает орбитального движения. По отноше-

нию к нам она движется постоянно с одной и той же скоростью, поэтому все линии ее спектра смещены по принципу Доплера на величины, соответствующие одной и той же скорости. Однако оказалось, что у таких горячих звезд смещение линий ионизованного кальция *соответствует совершенно другой скорости*, чем та скорость, с которой движется сама звезда.

Если ионизованный кальций заполняет все межзвездное пространство, то его линии, смещенные, как мы видим, всегда особенным образом, должны присутствовать в спектрах звезд любого типа. К сожалению, более холодные звезды сами содержат в своей атмосфере ионизованный кальций, а потому и его линии в спектре. Эти линии широки и сильны и маскируют тонкие, слабые линии межзвездного кальция. В некоторых случаях все же удалось обнаружить эти тонкие «межзвездные» линии, наложенные на более широкие «звездные» линии спектра.

Решающим оказалось выполненное в Канаде Пласкеттом и Пирсом сопоставление интенсивности линий межзвездного кальция с расстоянием до звезд. Чем звезда дальше, тем интенсивнее ее линии межзвездного кальция. Но так и должно быть, если кальций заполняет всю межзвездную среду. Чем дальше от нас звезда, тем длиннее путь ее луча, прежде чем он дойдет до нас, и тем больше поглощающих атомов кальция он встретит на своем пути. Чем больше атомов кальция поглотит свет звезды, тем больше он ослабится и тем темнее и интенсивнее будет линия поглощения в спектре. С этим объяснением пришлось согласиться.

Мало того, теперь мы имеем возможность, установив из наблюдений связь между интенсивностью линий ионизованного кальция и известными расстояниями до звезд, определять по интенсивности этих линий расстояние до тех горячих звезд, для которых они еще не известны. Спасибо межзвездному кальцию! — должны сказать мы во многих случаях, так как часто у нас не бывает другого способа определить расстояние до какой-нибудь звезды.

Пласкетт и Пирс сумели также доказать, что межзвездный кальций участвует в том общем вращении, которым охвачены все звезды нашей звездной системы. Сопоставляя лучевые скорости звезд, вызванные этим вращением, с лучевой скоростью межзвездного кальция (по сдвигу его линий в спектрах *тех же звезд*), убедились, что последняя вдвое меньше, чем та лучевая скорость, которая следует для данной звезды по теории вращения Галактики. Но вдвое меньшую скорость относительно Солнца при вращении Галактики должна иметь точка, вдвое более близкая. Вывод отсюда один: межзвездный кальций участвует во вращении всей звездной системы, вместе со звездами и по тем же законам, так как центр тяжести того столба газа, который находится между любой звездой и нами, во всех случаях совпадает с его серединой. Это значит, что в пространстве между звездами кальций расположен довольно равномерно.

Впрочем, позднее выяснилось, что, как и космическая поглощающая пыль, кальций концентрируется в плоскости Млечного Пути. Выяснилось и то, что он расположен не непрерывной средой, а скорее в виде многочисленных облаков. Размеры некоторых облаков кальция доходят до 2000 световых лет.

Пока свойства атомов не были хорошо изучены физиками, исключительное или по крайней мере преобладающее нахождение именно кальция между звездами вызывало недоумение. Потом выяснилось, что ионизованный кальций поглощает свет главным образом в тех двух своих линиях, которые находятся в легко наблюдаемой части спектра. Атомы других элементов поглощают свет либо в очень многих линиях, как, например, железо, либо в такой области спектра (ультрафиолетовой), которая недоступна для изучения из-за ее полного поглощения в нашей атмосфере. Поэтому-то линии других межзвездных атомов, если они и есть, либо вообще не могут быть обнаружены, либо они менее заметны, потому что их общее поглощение разбивается на много разных поглощений — в каждой линии по-

немногу. Таким образом, нет оснований считать ионизованный кальций единственным или преобладающим газом в межзвездных недрах, он только заявляет о своем присутствии «крикливее» других.

Можно все же попытаться найти и другие межзвездные газы, хотя бы слабые следы их,— «кто ищет, тот всегда найдет!». И действительно, после специальных поисков в спектрах звезд был найден межзвездный натрий, а в самые последние годы обнаружили еще нейтральный кальций, ионизованный титан, нейтральный калий и даже железо! Кроме того, в конце тридцатых годов были найдены еще межзвездные молекулы нейтрального и ионизованного углеводорода CH и $CH^+$, циана CN, NaH, а также некоторые линии неизвестного еще пока происхождения. Средняя плотность поглощающего межзвездного газа в несколько тысяч раз меньше плотности излучающих свет газовых туманностей.

Все, что известно сейчас о межзвездном газе, хорошо укладывается в единую теоретическую картину, рисующую физику газовых туманностей следующим образом.

Атомы газа, так или иначе попавшего в межзвездное пространство, ионизуются и возбуждаются квантами света, излучаемого звездами. С этими квантами они изредка сталкиваются. Мы сказали — изредка, потому что вдали от звезд через квадратный сантиметр поверхности проходит очень мало этих квантов. Так же редко происходит встреча иона со свободным электроном, при которой он восстанавливает свою структуру, реже, чем в газовых туманностях с их большей плотностью. Пока атом ионизованного кальция странствует в пространстве, терпеливо ожидая встречи с каким-либо заблудшим электроном, на него может налететь какой-нибудь квант света звезды, соответствующий длине волны 3933 Å, и возбудить его до высшего энергетического состояния. Не будучи в состоянии переживать такое возбуждение дольше одной десятимиллионной доли секунды, атом вернется к исходному нормальному или невозбужденному, состоянию. При этом он излучит обратно

поглощенный было им квант энергии с длиной волны 3933 Å. Но его он пошлет уже не в том направлении, откуда получил, а в каком-либо ином. Так ион кальция, находящийся между нами и звездой, перехватывая кванты ее света, идущие к нам, будет их отбрасывать то туда, то сюда, будет рассеивать свет, и до нас его дойдет меньше, чем дошло бы без этого вмешательства. В результате в этой длине волны свет звезды ослабится, и в ее спектре мы увидим темную линию. Подобно этому ведут себя и другие межзвездные атомы.

Зная структуру атомов и их способность к поглощению, можно по интенсивности линий оценить их число на пути звездного луча, а зная расстояние до звезды, вычислить и плотность межзвездного газа.

Первые шаги, сделанные в этом направлении, дают для межзвездного ионизованного кальция плотность порядка $4 \cdot 10^{-32}$ *г/см*$^3$. Полная же плотность межзвездного газа значительно больше и по оценке Эддингтона составляет не менее $10^{-24}$ *г/см*$^3$. Если бы этот газ состоял из одного лишь водорода, то при такой плотности в одном кубическом сантиметре содержалось бы только по одному атому, тогда как в таком же объеме комнатного воздуха их содержится десять миллиардов миллиардов!

В действительности дело почти так и обстоит, так как водород на самом деле является главной составной частью межзвездного газа. Следующее за ним место занимают кислород и натрий, но на водород приходится более 90% атомов всей межзвездной среды, включая космическую пыль и метеориты. На долю последних приходится, как оказывается, ничтожная доля массы всей межзвездной среды и больше всего в ней весит самый легкий из газов!

К сожалению, межзвездный водород в поглощении не обнаружен оптическими методами и едва ли даже будет обнаружен, потому что в большинстве уголков нашей Вселенной подавляющее число атомов водорода находится в невозбужденном состоянии и потому поглощает энергию в невидимой далекой ультрафиолетовой области спектра.

Некоторая надежда увидеть знакомые линии водорода, но не в поглощении, а в излучении, все же есть. Они могут возникать, когда свободные электроны будут захватываться ядрами водорода и возвращаться к ближайшей к ядру орбите с наименьшей энергией каскадами — со ступеньки на ступеньку, задерживаясь на время на второй от ядра орбите. Такие случаи будут не часты, и излучение ярких линий межзвездного водорода должно быть слабым.

Путем многочасовых экспозиций О. Струве удалось обнаружить в некоторых обширных областях Млечного Пути слабые линии излучения водорода. Это и есть сигнал в видимых лучах от межзвездного водорода, но автор этой книги думает, что нередко мы тут имеем дело с проекцией друг на друга больших, далеких от нас и очень разреженных диффузных газовых туманностей. Будучи слабы и неразличимы по отдельности, они-то и создают впечатление неопределенно широкой излучающей водородной области H II.

Это подтверждается тем, что, кроме линий водорода, в тех же областях неба были обнаружены яркие линии запрещенного азота и кислорода, т. е. был получен обычный спектр газовых туманностей. К тому же в этих областях были как раз обнаружены и горячие звезды спектрального класса O, которые всегда возбуждают свечение газовых туманностей.

Однако не только существование, но и распределение в пространстве, и скорости движения межзвездного водорода в настоящее время надежно установлены по его радиоизлучению. Подробнее об этом мы расскажем в главе 10.

По оценке Дэнхема и О. Струве плотность отдельных газов в межзвездном пространстве, определенная по интенсивности как линий поглощения, так и излучения, такова:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Водород | $2{,}7\cdot10^{-24}$ *г/см*$^3$ | Кальций | $7\cdot10^{-28}$ *г/см*$^3$ |
| Кислород | $2{,}3\cdot10^{-26}$ » | Титан | $8\cdot10^{-30}$ » |
| Натрий | $4\cdot10^{-27}$ » | CH | $2\cdot10^{-29}$ » |
| Калий | $7\cdot10^{-28}$ » | CN | $1{,}5\cdot10^{-29}$ » |

Для межзвездного вещества, на основании анализа наблюдаемого движения звезд, нельзя допустить плотность больше чем $6 \cdot 10^{-24}$ *г/см*$^3$, и вероятнее всего именно эта величина, совпадающая с оценкой, приведенной выше. Любопытно, что по некоторым оценкам средняя плотность межпланетного пространства в Солнечной системе, если иметь в виду его заполнение метеоритной материей, составляет $5 \cdot 10^{-25}$ *г/см*$^3$. Это даже меньше, чем плотность межзвездного пространства. По оценке Гринстейна плотность межзвездной пыли (исключая газ) составляет $2 \cdot 10^{-25}$ *г/см*$^3$. Так, вероятно, пыль между звездами по своей массе уступает место межзвездным газам!

В 1932 г. американский радиофизик Янский обнаружил радиоизлучение Млечного Пути. В метровом диапазоне оно очень сильно. Как выяснилось, это радиоизлучение имеет два источника. Одним из них является скопление в полосе Млечного Пути множества газовых туманностей. Мы видим из них только самые близкие или самые яркие. Видеть их далеко от нас мешает и поглощение света космической пылью. Но радиоволны эта пыль почти не задерживает и радиоизлучение далеких туманностей сливается в сплошной «радиошум» вдоль полосы Млечного Пути. Составлены карты неба, показывающие его «яркость» в разных местах в радиодиапазоне на разных длинах волн.

Другим источником радиоизлучения является торможение релятивистских электронов в межзвездных магнитных полях. Существование межзвездных магнитных полей строго доказано к середине шестидесятых годов. Релятивистские электроны входят и в состав космических лучей. Как мы уже говорили, при торможении релятивистских электронов в магнитном поле возникает излучение, в частности, в радиодиапазоне.

Водород ионизуется горячими звездами, которых мало и которые образуют сравнительно тонкий слой, заполняя его далеко не целиком. Дальше от слоя и в этом слое, но ближе к центру нашей звездной системы, горячих звезд и ионизованного водорода тоже нет.

Там везде водород может быть, но он будет не ионизован. И. С. Шкловский предвычислил, что нейтральный водород должен испускать в радиодиапазоне линию излучения с длиной волны 21 *см* и что она должна быть достаточно яркой для ее обнаружения радиотелескопами. Наблюдения вскоре это подтвердили. Так холодный невидимый нейтральный водород стал доступен для изучения почти во всем объеме нашей звездной системы. Ведь на энергию волн длиной 21 *см* поглощение межзвездной пылью не влияет!

По смещению линии излучения, испускаемой облаком нейтрального водорода, можно установить скорость облака по лучу зрения. Зная закон вращения нашей звездной системы и скорость облака, можно вычислить и расстояние до него. По интенсивности линии определяют плотность облаков, а изучение их распределения в пространстве чрезвычайно обогащает наше представление о строении нашей звездной системы.

Пыль, межзвездный газ и горячие диффузные туманности концентрируются в плоском слое толщиной около 600 световых лет, что мало́ сравнительно с размерами всей нашей звездной системы. Но отдельные облака горячего и холодного газа встречаются и на больших расстояниях от этого слоя, где они имеют значительные хаотические движения.

В 1963 г. радиотелескоп принес открытие в межзвездном пространстве радиолинии гидроксила ОН. Возможность ее наблюдения предсказывалась. Ее длина волны около 18 *см*. Линия эта сложная и состоит из нескольких компонент. Она наблюдается и в поглощении, и в излучении, обычно в области горячих газовых туманностей, но далеко не всех. Комплекс линий ОН обнаружил ряд пока еще крайне загадочных явлений. В частности, обнаружилась переменность яркости, очень различная у разных компонентов линии ото дня ко дню. Будущее развитие науки вскоре, вероятно, даст объяснение этим загадкам.

Инфракрасными наблюдениями был обнаружен межзвездный гелий, а в 1965—1966 гг. он же был

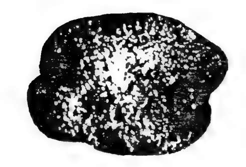
обнаружен и в радиоизлучении. Одна из главных его линий излучения имеет длину волны около 6 *см*, а другая находится вблизи радиолинии водорода с длиной волны 21 *см*.

В общем к 1976 г., помимо атомов, в межзвездном пространстве, преимущественно методами радиоастрономии, открыто около 25 молекул. Одна из них состоит из семи атомов, одна из шести, но большинство двух- и трехатомные.

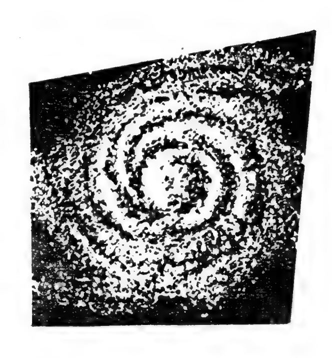
Самая сложная из этих молекул метилацетилен ($CH_3C_2H$), затем идут метилцианид ($CH_3CN$) и метиловый спирт ($CH_3OH$), обнаружены также типичные для состава комет CO, CN. Из других назовем $H_2O$, $H_2$, аммиак $NH_3$.

К 1976 г. стало возможно заключить, что содержание разных химических элементов в межзвездном газе заметно отличается от процента их в газах, содержащихся в атмосферах звезд и Солнца, хотя часть этих атмосфер постепенно рассеивается в пространстве, а часть межзвездной среды аккумулируется на звездах, захватывается ими (*аккреция* газов). Например, в некоторых направлениях обнаружен недостаток многих атомов — по отношению к водороду их число там в 3 и более раз меньше, чем в атмосфере Солнца. Такие аномалии носят, однако, местный характер.

Как могло межзвездное пространство наполниться газом? Что старше — рассеянный межзвездный газ и туманности или же звезды? К этому вопросу мы вернемся в главе 11.



Г Л А В А 10



# ОСТРОВА ВСЕЛЕННОЙ

## ВЕРСТОВЫЕ СТОЛБЫ И СТРУКТУРА НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

Нас интересует не только звездное население того дома, в котором мы живем. Нас интересует и архитектура этого дома и его размеры; интересует, как его обитатели расселены, где жилищная теснота звезд, какие жилплощади не заняты жильцами. И вот, глядя в звездную даль, в усыпанное звездами небо, мы должны это установить. От наивной древней картины мира, принимавшей за действительность кажущуюся одинаковую удаленность всех звезд и располагавшую их всех на поверхности хрустальной сферы, мы должны перейти к познанию истинной пространственной структуры грандиозной звездной системы.

Первое, что мы стремимся установить,— это общие контуры, общие очертания нашей звездной системы, хотя бы в самых грубых чертах. Это удалось сделать еще до того, как стало известно расстояние до ближайшей звезды. На первых порах совершенно правильно приняли для этой цели, что светимость всех звезд одинакова и что различие в их видимом блеске зависит исключительно от их расстояния до нас. Мы знаем теперь, что в действительности светимости звезд различаются прямо-таки чудовищно, но мы знаем также и то, что очень ярких звезд очень мало и что из очень слабых звезд видны лишь те, которые к нам совсем близки. Поэтому большинство видимых звезд — это средние звезды, и к ним *в среднем* наше предположение вполне применимо.

Допустим, вы стоите на высоком холме над равниной, на которой разбросаны купами старые и молодые деревья. Они различны по высоте, высоту каждого из них вы не знаете. Но, глядя на них с холма, вы по их *кажущейся величине* довольно правильно можете судить о расстоянии до каждой купы деревьев. Вы — разведчик Вселенной, холм — наша Солнечная система, деревья — это звезды. Применяйте к ним такой глазомер и изучайте местность. Такой путь изучения звездной Вселенной предложил Вильям Гершель. До него ограничивались наблюдением положения звезд на небе и изучением поверхности Луны и планет, а также увлекались изучением движения членов Солнечной системы.

Биография Гершеля стоит того, чтобы о ней сказать несколько слов. Музыкант, служивший вначале в Ганноверской армии, он переселился в Англию и там, урывая время от уроков музыки, посвящал вечера наблюдению неба. Открыв планету Уран, он приобрел большую известность, но все еще не имел средств на покупку большого телескопа и стал его делать сам. В этом он так преуспел, что впоследствии соорудил себе телескопы-рефлекторы, достигавшие 120 *см* в диаметре и долго бывшие наибольшими в мире. С ними он сделал множество открытий.

Для выяснения контуров Вселенной Гершель стал подсчитывать число звезд разного блеска, видимых в поле зрения его телескопа в различных участках неба,— в Млечном Пути и в стороне от него. Он обнаружил, что чем слабее звезды, тем быстрее возрастает их число по мере приближения к Млечному Пути. Сам же Млечный Путь, как открыл еще Галилей, состоит из бесчисленного множества слабых звезд, сливающихся в сплошную сияющую массу, которая как кольцо опоясывает все небо.

Из этих подсчетов Гершелю стало ясно, что дальше всего наша звездная система тянется во все стороны от нас по направлению к Млечному Пути в плоскости, проходящей через его среднюю линию. Так как Млечный Путь опоясывает все небо, деля его почти пополам, то, очевидно, наша Солнечная

система находится вблизи этой плоскости (вблизи галактической плоскости, как ее называют).

Однако Гершель принимал, что он своим гигантским телескопом проник до границ нашей звездной системы, состоящей из звезд, расположенных в пространстве будто бы равномерно.

Основатель Пулковской обсерватории В. Я. Струве в 1847 г. пересмотрел расчеты Гершеля и, изучив распределение звезд, доказал ошибочность подобных выводов. Струве установил, что в пространстве звезды расположены не равномерно, а сгущаются к плоскости Млечного Пути, что наше Солнце вовсе не занимает центральное положение в этой звездной системе и что наибольшие телескопы Гершеля далеко еще не достигли ее границ, а потому и о форме ее говорить преждевременно. Гершель считал, что он как бы сидит со своим телескопом в центре правильно расположенной рощи, из которой обозревает все ее опушки, а Струве доказал, что Гершель сидел где-то в огромном лесу, полном чащи разрежений, откуда опушки леса далеко еще не видны.

Чем дальше от плоскости Млечного Пути, тем меньше там видно слабых звезд и тем на меньшее расстояние в этих направлениях тянется звездная система. В общем наша звездная система, названная Галактикой, занимает пространство, напоминающее линзу или чечевицу. Она сплющена, толще всего в середине и утончается к краям. Если бы мы могли видеть ее «сверху» или «снизу», она имела бы, грубо говоря, вид круга (не кольца!). «Сбоку» же она выглядела бы как веретено. Но каковы размеры этого «веретена»? Однородно ли расположение звезд в нем?

Ответ дает уже простое рассматривание Млечного Пути, который весь состоит как бы из нагромождения звездных облаков. Одни облака ярче, в них больше звезд (как, например, в созвездиях Стрельца и Лебедя), другие же беднее звездами.

Видимая клочковатость Млечного Пути создается также и неравномерным распределением облаков космической пыли, темными туманностями разной плотности, поглощающими свет звезд, находящихся

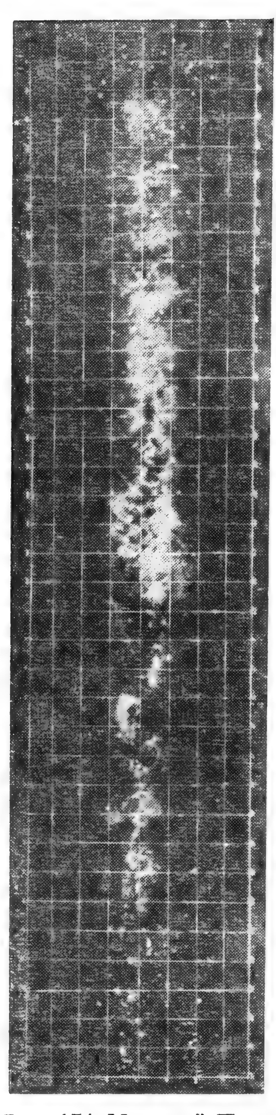


Рис. 174. Млечный Путь.

за ними. Но и с учетом этого наша звездная Вселенная неоднородна. Галактика состоит из звездных облаков, Солнечная система находится в одном из них, называемом *«Местной системой»*. Самые мощные облака звезд находятся в направлении созвездия Стрельца; там Млечный Путь наиболее ярок. Он наименее ярок в противоположной части неба.

Из этого нетрудно вывести заключение, что Солнечная система не находится в центре Галактики, который от нас виден в направлении созвездия Стрельца. Значит, Млечный Путь — это картина, видимая нами, находящимися внутри Галактики, вблизи ее плоскости, но вдали от ее центра.

Для получения более правильной картины мы должны учитывать распределение звезд по светимости и поглощение света в пространстве, которое, как мы видели, значительно и, вдобавок, различно по разным направлениям.

Для изучения изменения звездной плотности с расстоянием от нас по различным направлениям подсчитываем звезды на фотографиях различных участков неба. При этом надо еще учесть, что на каждой фотографии круглая площадка на небе соответствует в *пространстве* объему, заключенному внутри конуса с вершиной в

Солнечной системе, если хотите — в глазу наблюдателя, жителя этой системы.

Учет всего перечисленного делает изучение строения Вселенной довольно сложным и трудоемким делом. Для учета поглощения света надо определить спектральные классы и цвет множества звезд на каждой фотографии. Нормальные цвета звезд каждого спектрального класса известны из изучения близких к нам звезд, на цвет которых межзвездное поглощение света не влияет. Свет же далеких звезд из-за поглощения становится тем более красным, чем дальше от нас и чем ближе к плоскости Млечного Пути они расположены. Ослабление видимого блеска звезды пропорционально ее покраснению. По степени покраснения оценивают величину ослабления видимого блеска каждой звезды, взятой для подсчетов. Необходимость фотографирования спектров звезд еще больше ограничивает исследования лишь более яркими звездами и позволяет изучить их распределение лишь до расстояний в несколько сотен световых лет. Так, мы изучаем лишь ближайшие окрестности Солнца, лишь внутреннюю часть звездного облака — «Местной системы», внутри которой мы находимся.

Для изучения, так сказать, костяка всей нашей звездной системы, для определения ее формы, размеров и структуры мы прибегаем к другим способам. Как было бы легко составить план равнинного редколесья, если бы на нем по всем направлениям встречались деревья-гиганты с надписью, на каком они расстоянии от нас находятся! Во Вселенной мы нашли звезды-гиганты, имеющие вполне определенную, известную нам светимость и видимые нам благодаря своей большой светимости на огромном расстоянии. Среди них первое место занимают переменные звезды — цефеиды, которые можно назвать маяками Вселенной. Их светимость возрастает, как мы знаем, с увеличением периода изменения их блеска. Стоит определить период изменения блеска звезды, и мы по рис. 154 сразу можем сказать, каковы ее абсолютная величина и светимость.

Из наблюдений легко можно определить период изменения блеска цефеиды и ее видимый блеск. Сравнение же видимого блеска с истинным, т. е. со светимостью $L$, сразу же нам дает расстояние до данной цефеиды, так как в прозрачном пространстве видимый блеск меняется обратно пропорционально квадрату расстояния. С учетом поглощения света в пространстве дело обстоит несколько сложнее. Если пользоваться абсолютной и видимой звездной величиной звезды, то расстояние в прозрачном пространстве, как мы знаем, можно вычислить по простой формуле. По этой формуле находится логарифм расстояния в световых годах:

$$\lg D = \frac{m - M + 7\frac{1}{2}}{5}.$$

Кроме цефеид — маяков Вселенной, верстовыми столбами в Галактике, или указателями расстояний, мы можем считать все звезды с большой и известной светимостью: долгопериодические переменные звезды (в максимуме блеска) и белые звезды с известным спектральным классом. Для первых светимость, как и у цефеид, известным нам образом зависит от периода изменения их блеска, для вторых мы можем ее отсчитать по диаграмме светимость — спектр.

Зависимость между периодом и светимостью у цефеид и у так называемых долгопериодических переменных звезд, а также диаграмма светимость—спектр построены по тем сравнительно близким к нам звездам этих типов, для которых светимость известна на основании надежно определенных расстояний. Для близких звезд расстояния можно определить непосредственно, применяя классический способ измерения тригонометрического параллакса. Для тех же звезд, которые расположены от нас так далеко, что их параллакс меньше, чем ошибки его измерения, этот способ неприменим, и вот тогда-то мы пользуемся способом, который только что был описан.

Все сказанное мы можем применить (и это для нас особенно ценно) к рассеянным и к шаровым звездным

скоплениям, расстояния до которых очень велики в сравнении с их размерами. Тогда, если в такой далекой звездной системе есть среди ее членов цефеиды или красные долгопериодические переменные или белые (несомненно, яркие) звезды, то мы можем считать, что расстояние до системы практически равно расстоянию от нас до этих ее членов, а их расстояния мы определять умеем. Лежит ли подобная звезда у переднего края системы или в дальнем ее конце, при большом расстоянии это уже не так важно. Если ваш приятель с группой товарищей во время загородной прогулки ушел далеко вперед, а вы видите, что отстали от них на 2—3 *км*, то вам безразлично, что эта группа растянулась по дороге на 10—20 *м*, и вы не будете особенно интересоваться тем, где ваш приятель — в голове или в хвосте группы. Вот в таком же положении бывают и астрономы, рассматривая далекую звездную систему.

В состав нашей Галактики, кроме отдельных звезд и звездных скоплений, входит еще диффузная материя в форме темных пылевых туманностей, общего слоя космической пыли, газовых диффузных и планетарных туманностей и общей массы газа. Последняя в основном является невидимым нейтральным водородом, обнаруживаемым по его радиоизлучению на длине волны 21 *см*. Расположение диффузной материи также нужно изучить. Как определяют расстояния до пылевых и газовых туманностей, пояснялось нами в главе 9.

Самыми далекими объектами нашей Галактики, как бы обрисовывающими главные черты ее строения и определяющими ее размеры, являются долгопериодические цефеиды, горячие звезды-гиганты, планетарные туманности, сгущения облаков нейтрального водорода и шаровые звездные скопления.

Для изучения движений населения нашей Галактики измеряются «собственные движения», т. е. видимые угловые перемещения (заметные на фотографиях лишь для ближайших звезд) и лучевые скорости очень далеких объектов. Для последней цели даже большой телескоп со спектрографом приходится

иногда направлять точно на слабо видимый объект в течение многих часов или даже ночей. Скорости движения облаков нейтрального водорода определяют, изучая профили линии 21 *см* при помощи радиотелескопа. Тысячи накопленных во всем мире таких наблюдений исправляют с учетом различных влияний и подвергают затем столь же кропотливому изучению. Из этих материалов выясняются закономерности

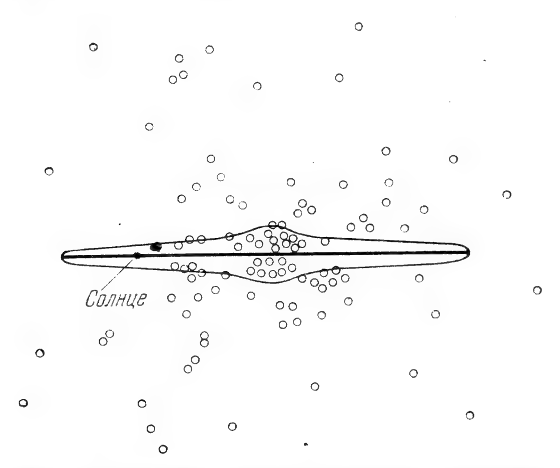



Рис. 175. Схема системы шаровых скоплений.

движений, масса нашей Галактики и распределение в ней плотности, создаваемой звездами, находящимися в единице объема.

## УСТРОЙСТВО ЗВЕЗДНОГО ДОМА, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ

В конечном счете выяснилось следующее. Большинство звезд-гигантов и звезд умеренной яркости концентрируется к плоскости нашей Галактики и в то же время к ее центру. Резкой границы у Галактики нет, все ее края постепенно сходят на нет. Поэтому, а также из-за неизбежных различий в выводах разных исследователей, размеры Галактики, приводимые разными авторами в книгах, изданных в

разное время, бывают несколько различными. Можно принять, что диаметр Галактики составляет около 100 000 световых лет, а толщина ее раз в 10—15 меньше.

Однако распределение разных видов населения в Галактике различно. Самые яркие и массивные звезды — сверхгиганты — «жмутся» к плоскости Галактики сильнее остальных. То же надо сказать о слое космической пыли и межзвездного газа, уплотнения в которых наблюдаются как туманности. В окрестностях горячих звезд газ ионизован, и мы видим его как светлые туманности, а в остальном пространстве водород нейтрален и невидим, составляя основную массу газа. Плотность этой материи внутри слоя растет с приближением к плоскости Галактики. Однако отдельные облака газа, имеющие большую скорость, встречаются на расстояниях от галактической плоскости, превышающих 300 световых лет.

В середине Галактики находится ее ядро, которое по аналогии с ядрами других звездных систем (см. дальше) должно иметь вид немного сплюснутого эллипсоида вращения. Мы находимся от него несколько далее 25 000 световых лет. В ядре Галактики нет горячих сверхгигантов и возбуждаемых ими к свечению диффузных газовых туманностей. Нет там и пыли, но есть в нем нейтральный водород, который, по неясной еще причине, растекается оттуда в плоскости Галактики со скоростью около 50 *км/сек*. Ядро, вероятно, окружено быстро вращающимся кольцом нейтрального водорода. Основное излучение ядра создается, по-видимому, оранжевыми звездами-гигантами (не сверхгигантами) спектрального класса K и множеством звезд карликов класса M. По отдельности они все не видны, и этот вывод основан на анализе суммарного цвета и спектра ядра. В общих грубых чертах форма Галактики сходна с чечевицей или с тонкой линзой, в середине которой находится более толстое и яркое ядро. Это ядро должно было бы казаться очень ярким, если бы его не скрадывало, не затмевало поглощение света в массах космической пыли.

В 1948 г. советские ученые В. Б. Никонов, В. И. Красовский и А. А. Калиняк на Крымской обсерватории добились большого успеха. Применяя электронно-оптические преобразователи, они сфотографировали невидимое скопление звезд, являющееся ядром нашей Галактики. Своего успеха они добились потому, что космическая пыль слабо задерживает инфракрасные лучи, испускаемые, так же как и видимые лучи, звездами галактического ядра. Прибор советских ученых был способен реагировать на эти невидимые глазом лучи, почти беспрепятственно пронизавшие облака космической пыли и дошедшие до нас. Невидимое изображение центра Галактики можно было превратить в изображение, лучи которого запечатлеваются фотопластинкой; так впервые в мире центр Галактики был заснят сквозь скрывавший его занавес.

Для изучения структуры Галактики мы находимся в очень невыгодном положении. Мы живем в ней и видим ее изнутри. Это очень затрудняет установление того, что мы могли бы выявить, бросив на нее лишь мимолетный взор откуда-нибудь издали.

Догадаться о внешнем виде нашего дома, не выходя из него, можно, изучая другие дома, видимые нами из окна. Наш дом — Галактика, другие дома — другие галактики.

Опять-таки по аналогии с другими сплющенными звездными системами — галактиками давно уже предполагали, что наша Галактика в своей плоскости должна иметь спиральные ветви, выходящие из ядра и закручивающиеся вокруг него. Обнаружить эти длинные спиральные ветви, погруженные в основной звездный диск, в ее, как говорят, плоскую составляющую, было невозможно пока не смогли научиться определять расстояние до очень далеких объектов и находить их на небе. В других системах спиральные ветви, иногда очень широкие, выделяющиеся своей яркостью на фоне диска, обрисовываются лучше всего расположением горячих гигантов, рассеянных звездных скоплений и газовых диффузных туманностей. В своей же Галактике мы до сих пор, отчасти из-за

мешающего влияния межзьездной пыли, не можем изучать эти объекты во всем объеме. Спиральные ветви часто не являются сплошными и геометрически правильными, нередко имеют ответвления. Поэтому относительно расположения спиралей нашей Галактики между учеными нет пока полного согласия. Радиометодами также обнаруживают спиральные ветви в расположении нейтрального водорода. Но эти ветви, прослеженные в бо́льшем объеме, пока еще не так легко согласовать с наметками ветвей, полученными из визуальных наблюдений. Может быть, их неполное совпадение реально.

Планетарные туманности и новые звезды являются промежуточными системами. Их концентрация к галактической плоскости умеренна, но она велика в направлении к центру Галактики. Эта система не плоская, она ближе к сферической. Почти сферическую звездную систему представляют собой немногочисленные шаровые скопления, сильно концентрирующиеся к центру Галактики. Они-то и распространяются до крайних границ Галактики, очерчивая ее максимальные размеры.

Наконец, сферическую систему образуют звезды умеренных светимостей — субкарлики и короткопериодические цефеиды, которых множество находится и в почти сферическом ядре Галактики. Таким образом, в слабо светящуюся сферическую корону, образованную этими звездами, погружено и ядро Галактики, и ее плоская составляющая, в которой выделяются своей яркостью спиральные ветви. Спиральные ветви, бросающиеся в глаза в других галактиках,— это эффектный, но легковесный (малый по массе) придаток внутри почти шарообразной системы, состоящей из слабых звезд, масса которых, однако, уступает массе сверхгигантов не так уж сильно, как уступает их светимость. Природа спиральных ветвей — этого украшения некоторых звездных систем— нам еще не ясна.

Масса нашей Галактики, оцененная несколькими способами, составляет $2\cdot10^{11}$ масс Солнца. Около 1/100 этой массы составляет межзвездный водород,

преимущественно нейтральный. Масса $2 \cdot 10^{11}$ соответствует оценке числа звезд в Галактике, так что на долю несветящихся звезд, если такие вообще есть, приходится очень малая доля массы.

Оорту (Голландия) в 1927 г. удалось обнаружить обращение звезд и в том числе Солнце (вместе с его планетами) вокруг центра Галактики. Как можно обнаружить вращение нашей звездной системы, впервые указал еще в середине прошлого века казанский астроном М. А. Ковальский, но его открытие было забыто. Галактика вращается не как колесо, но и не так, как планеты обращаются вокруг Солнца. Закон ее вращения сложен и является сочетанием законов, представляющих указанные два типа вращения. Солнечная система обращается вокруг центра Галактики, лежащего от нас на расстоянии 25 000 световых лет со скоростью около 220 *км/сек*. Форма орбиты как следует еще не известна, но если она близка к окружности, что́ вероятно, то один оборот по ней Солнце завершает примерно за 270 млн. лет. Этот период, если хотите, можно принять за «космический год» для измерения очень больших промежутков времени. Вся история человечества в сравнении с таким периодом — только краткий миг! Если бы мы могли видеть, как Солнце несется и заворачивает по своей орбите, как мы видим поезд, заворачивающий на закруглении пути, то мы не могли бы уследить за оборотами планет около Солнца. Они казались бы вертящимися быстрее, чем лопасти электрического вентилятора.

Звезды обращаются вокруг центра Галактики с разными скоростями и, например, короткопериодические цефеиды отстают от Солнца на 100 *км* за каждую секунду! Движение нашей Солнечной системы со скоростью 20 *км* в секунду в направлении к созвездию Лиры — это ее движение внутри нашего звездного облака или Местной системы. Оно мало́ и не мешает нам вместе со всей Местной системой обращаться вокруг галактического центра.

Расположение невидимого нейтрального газа можно установить во всем объеме Галактики. При этом

очень важно следующее. В галактической плоскости оптические исследования ограничиваются поглощением света в космической пыли. Это поглощение для радиоизлучения практически отсутствует, в радиолучах Галактика прозрачна. С другой стороны, доплеровские смещения водородных линий с $\lambda = 21$ *см* от облаков, лежащих на разных расстояниях от нас и движущихся с разной скоростью, позволяют эти линии изучать раздельно. В результате нейтральный водород, не в пример туманностям и звездам, можно изучать до самых удаленных областей Галактики.

Исследования распределения газа в Галактике показали, что в длинных уплотненных волокнах шириной около 200 парсек средняя концентрация водорода — 1 атом в 1 $см^3$, а между ними она раз в 10 меньше.

В центральной области Галактики масса газа составляет ничтожную долю от массы звезд, но на периферии его масса равна примерно 15%, так как там звездная плотность падает. В целом масса газа составляет около 1—2% от массы Галактики, остальное приходится на звезды. Более 90% межзвездного водорода находится в нейтральном состоянии. Ионизован он лишь там, где много горячих гигантов, что бывает в основном в средних частях спиральных галактик. В нашей Галактике доля ионизованного водорода достигает 40% на расстояниях между 3000 и 3500 парсек от центра.

Следовало ожидать, что в связи с этим светлые газовые диффузные туманности расположены там, где проходят волокна уплотненного нейтрального водорода. Ожидалось также, по аналогии с другими спиральными галактиками, что и светлые туманности, и нейтральный водород, и горячие звезды, в частности, скопления их, должны обрисовывать спиральные ветви нашей Галактики.

Такие сопоставления малоубедительны ввиду значительного произвола в объединении объектов в спиральные ветви. Основное расхождение состоит, объективно говоря, в том, что найденные волокна нейт-

рального водорода образуют скорее окружности, чем спирали. Мы полагаем, что расстояния до оптических объектов этого типа установлены еще ненадежно, как и расстояния до облаков нейтрального

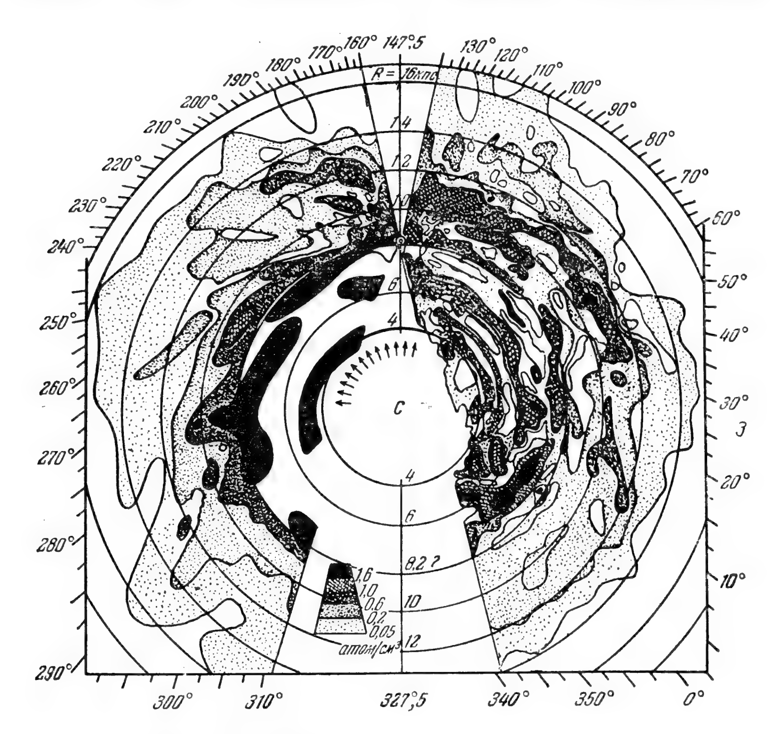



Рис. 176. Нейтральный водород в Галактике.

водорода, выведенные по экстраполяции закона вращения Галактики.

Спиральные галактики бывают и с широко открытыми двумя-четырьмя спиральными ветвями и со многими ветвями или с почти концентрическими дугами. Возможно, что наша Галактика принадлежит к последнему виду: ее спиральные рукава или сильно ветвятся или состоят из бесчисленных коротких дуг. Тогда понятно, что обрывки этих образо-

ваний трудно уложить в правильные схематические кривые, каких у реальных галактик почти не бывает.

Голландские астрономы установили существование в центре Галактики диска толщиной около 130 и радиусом около 400 парсек. Он вращается со скоростью около 200 *км/сек* на периферии. На расстоянии 300 парсек от центра они же нашли кольцо, или часть спирали, удаляющуюся от центра со скоростью около 50 *км/сек*. Кроме того, найдено, что слой межзвездного газа имеет перекос относительно плоскости Галактики, будучи приподнят в направлении к Магеллановым Облакам и опущен в противоположном направлении. Вероятно, это объясняется эффектом влияния этих небольших неправильных галактик (наших спутников) на газовый слой нашей Галактики. Подобные явления перекоса мы обнаружили еще раньше в некоторых парах других галактик.

Радионаблюдения позволили установить и температуру межзвездного газа по интенсивности линии 21 *см* в слоях, где он достаточно непрозрачен и излучает как черное тело. Была найдена температура излучения в 125° K вместо 10—15° K, как считали раньше. Предполагают, что столкновения облаков ведут к их нагреву до 3000°, после чего происходит охлаждение до 25° K, так что температура разных облаков весьма различна.

В итоге всех исследований можно сказать, что в нашей Галактике космической пыли раз в 10 меньше, чем диффузного газа.

## ГАЛАКТИКИ — ОСТРОВА ВСЕЛЕННОЙ

Вскоре после изобретения телескопа внимание наблюдателей привлекли многочисленные светлые пятна туманного вида, так и названные туманностями, видимые неизменно в одних и те же местах в разных созвездиях. Их заносили в каталоги, но главным образом с чувством досады на то, что они мешают открывать кометы, имеющие вид таких же

туманностей, но отличающиеся своим перемещением на фоне звездного неба, подобно планетам.

Первый такой каталог составил в XVIII веке француз Мессье. По этому каталогу, включающему

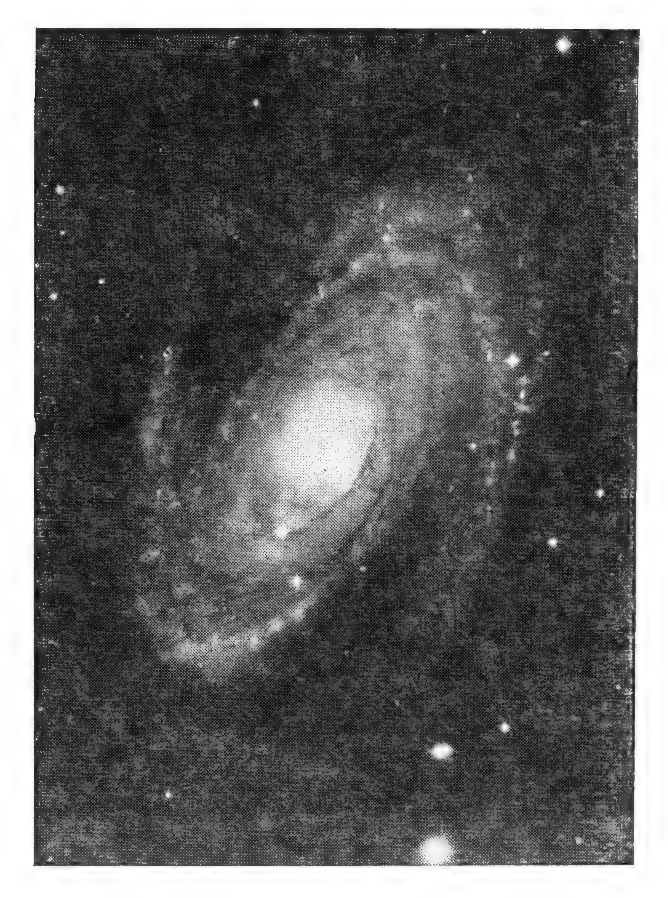


Рис. 177. Спиральная галактика М 81.

около сотни объектов, туманности и звездные скопления обозначаются номерами после буквы М. Например, шаровое скопление в Геркулесе М 13, боль-

шая туманность в Андромеде М 31, в Треугольнике М 33. О другом подобном каталоге (NGC) мы говорили ранее (стр. 567). С помощью светосильных телескопов Вильям Гершель и его сын Джон, а затем Росс (тоже в Англии) открыли множество таких туманных пятен, а к концу прошлого века у некоторых из них Россом была обнаружена спиральная форма. В таких спиральных туманностях из туманного ядра, более яркого к центру, выходят ветви или рукава, закручивающиеся вокруг ядра по спирали подобно часовой пружине. Что представляют они собой,— долго гадали, пока в 1924 г. Хабблу не удалось получить с помощью крупнейшего в то время телескопа исключительно резкие фотографии спиральных туманностей. Края этих туманностей оказались состоящими из множества чрезвычайно слабых звезд — туманность, как говорят, была разрешена на звезды. Стало ясно, что ближе к центру сплошное туманное сияние получается лишь вследствие слияния для нас в одну сплошную массу мириад звезд, расположенных очень тесно. Эти фотографии сразу показали, что перед нами не облака пыли, светящие отраженным светом, и не облака разреженного газа, а чрезвычайно далекие звездные системы, в которых звезд несравненно больше, чем в шаровых звездных скоплениях.

Те маленькие спиральные туманности, которые еще не разрешены на звезды, несомненно, такие же звездные системы, только слишком далекие от нас, чтобы их структуру могли различить современные телескопы.

В 1944 г. Бааде удалось разрешить на звезды и центральную часть спиральной туманности в Андромеде М 31 и две небольшие туманности эллиптической формы — ее соседки. До этого многие допускали, что эллиптические туманности и центральные части спиральных туманностей состоят не из звезд, а из газа или космической пыли.

Спектры подтверждают звездную природу ядер эллиптических и спиральных туманностей. Это спектры, очень похожие на спектр Солнца, показывающие, что большинство звезд в них — желтые и

красные. Спиральные ветви состоят из более горячих белых звезд. По смещению темных линий в спектрах спиральных туманностей можно было определить скорости их движения. Как целое, они движутся со скоростями в сотни километров в секунду.

Окончательно природа спиральных туманностей вскрылась, когда в них на упомянутых фотографиях

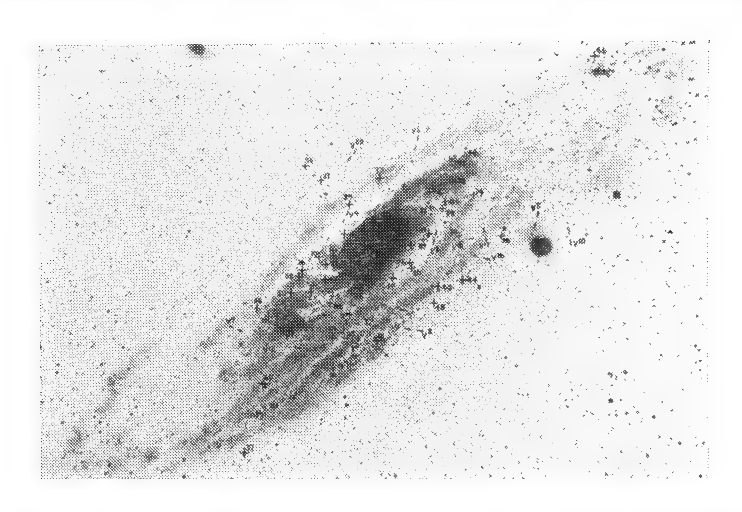


Рис. 178. Галактика в созвездии Андромеды с новыми звездами и цефеидами.

были найдены и цефеиды, и долгопериодические переменные, и яркие голубоватые звезды. Позднее открыли в спиральной туманности Андромеды шаровые звездные скопления, вполне подобные скоплениям нашей Галактики, но вследствие их дальности едва отличимые по своему виду от ярких звезд. Были открыты в спиральных туманностях и огромные клочья разреженного газа, дающие спектр из ярких линий и опять-таки подобные тем, какие кое-где встречаются в межзвездном пространстве внутри Галактики. Выяснилось, что в шаровых звездных скоплениях, а также в эллиптических звездных системах составляющие их звезды образуют другую диаграмму

спектр — светимость, чем та, о которой мы говорили раньше и которая относится к звездам, составляющим спиральные ветви и неправильные, клочковатые звездные системы типа Магеллановых Облаков. Они видны невооруженным глазом и похожи на обрывки Млечного Пути.

Точнее всего расстояния, а следовательно, и размеры, определяются по видимому блеску цефеид, когда последние наблюдаются в данной галактике. Это возможно сделать только для ближайших галактик. До более далеких галактик расстояние определяют по видимому блеску находящихся в них наиболее ярких звезд-сверхгигантов. В эллиптических галактиках, похожих по виду на шаровые скопления нашей Галактики, но только гигантских размеров, звезд-сверхгигантов нет.

Из эллиптических галактик интересна самая яркая и большая галактика М 87, главная в скоплении галактик в Деве. Эта гигантская галактика имеет свиту из нескольких сотен шаровых звездных скоплений, которые на фотографии, ввиду их дальности, с трудом отличимы от звезд. С другой стороны, эллиптические галактики — спутники большой спирали в Андромеде (М 31) — гораздо меньше, чем М 87. Недавно открыты карликовые эллиптические галактики, лишь в несколько раз более крупные и яркие, чем типичное шаровое скопление.

Большинство галактик так далеки, что в них отдельных звезд не видно. Поэтому названные выше способы определения расстояний к ним неприменимы. В то же время светимости и линейные размеры галактик так разнообразны, что ни их видимый угловой диаметр, ни их видимый блеск не могут служить мерой расстояния. Расстояния до них оценивают по удивительному свойству совокупности всех галактик, открытому Хabблом.

По изучению галактик с уже известными расстояниями и скоростями движения по лучу зрения выяснилось, что линии их спектра смещены к красному его концу на величину, пропорциональную их расстоянию. Это удивительнейшее явление называется

*красным смещением.* Его величину можно выразить по принципу Доплера скоростью движения по лучу зрения. Эта скорость удаления от нас накладывается,

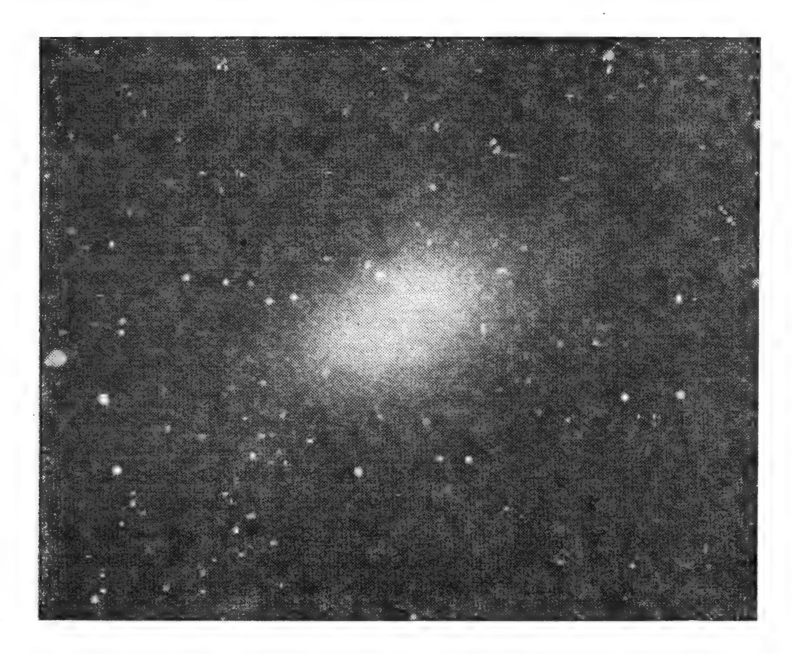


Рис. 179. Эллиптическая галактика, «разрешенная» на звезды.

так сказать, на собственную лучевую скорость галактик, которая для всех их не превышает нескольких сотен километров в секунду. Для близких галактик такая собственная скорость и красное смещение по величине одного порядка, но для далеких из них красное смещение гораздо больше — тысячи и десятки тысяч километров в секунду. Поэтому расстояние до далеких галактик по их красному смещению определяется как раз с наименьшей относительной ошибкой. Например, если есть тесная группа галактик, то в ней относительно друг друга отдельные члены движутся со скоростью 200—400 *км/сек*, а в

среднем группа, как целое, может иметь красное смещение 1000 или 10 000 *км/сек*. По современной оценке «постоянная Хаббла»— возрастание красного

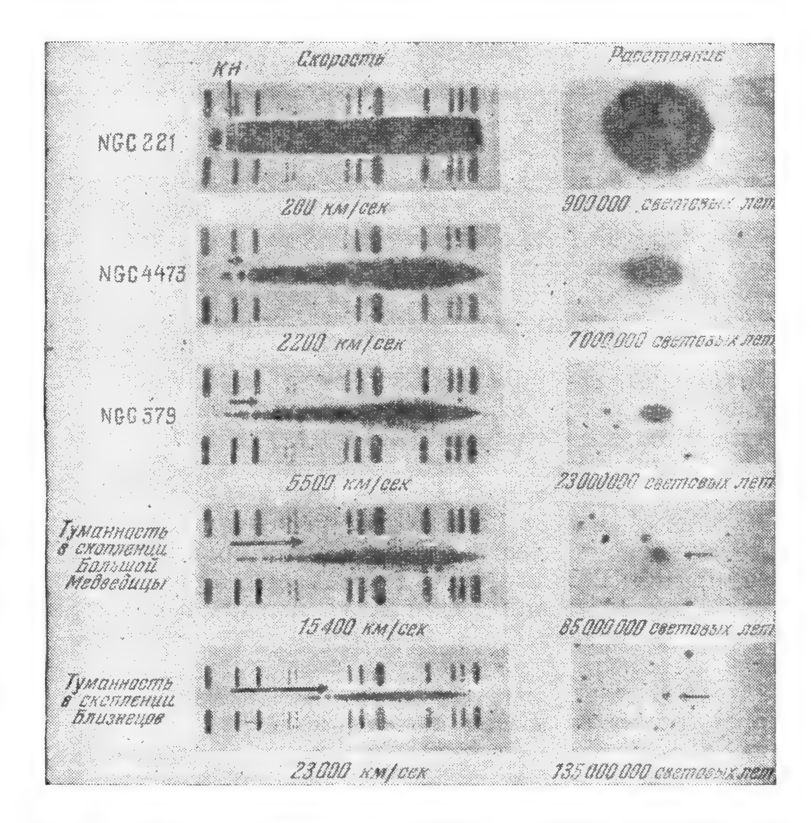



Рис. 180. Красное смещение в спектрах галактик, растущее с расстоянием до них. Рядом показано примерное относительное уменьшение видимого размера крупных галактик с увеличением красного смещения.

смещения на каждые 3 000 000 световых лет (на 1 000 000 парсек) составляет около 100 *км/сек*. Для приведенного примера в первом случае расстояние до галактик было бы около 10 млн. парсек, с возможной ошибкой не более 20—30%. Во втором случае

расстояние было бы 100 млн. парсек с ошибкой не более 2—3%.

Спиральная туманность Андромеды кажется больше и ярче всех потому, что она крупная и ближе всего к нашей Галактике. Расстояние до нее составляет полтора миллиона световых лет — вот оно, это ближайшее расстояние! Свет ее, доходящий сейчас до нас, покинул туманность Андромеды в ту пору, когда на Земле не было еще человечества. Размер ее составляет более 100 000 световых лет по диаметру, но в направлении, перпендикулярном к плоскости ее наибольшего распространения, она во много раз тоньше,— она сильно сплющена. Сопоставляя вид туманностей, таких, как в Треугольнике (почти круглых внешних очертаний), в Андромеде (продолговатой) и в Деве (веретенообразной), мы должны заключить, что различие их вида определяется их поворотом (ракурсом) по отношению к нам. Очевидно, такие звездные системы (которые мы теперь имеем полное право называть *галактиками*, поскольку они такие же громадные звездные системы, как и наша Галактика) имеют сплющенную чечевицеобразную или линзообразную форму и зачастую спиральную структуру. Галактика в туманности Треугольника лежит перед нами «плашмя», галактика в созвездии Андромеды своей плоскостью симметрии наклонена к нам, а галактика в созвездии Девы повернута к нам ребром. Кстати сказать, вдоль веретена, каким она представляется, видна темная полоска. Такие темные полоски видны у многих галактик веретенообразного вида (см. рис. 113). Несомненно, что это, как показал Кэртис (США),— скопление темных туманностей, состоящих из пыли и концентрирующихся к плоскости их экватора. В других галактиках, менее к нам наклоненных, также можно заметить темные области на фоне сияющей массы ядра, в рукавах и между рукавами спиральных завитков. Поглощающее вещество есть во всех галактиках, а не только в тех, которые повернуты к нам ребром. Этим дополняется сходство далеких галактик с нашей Галактикой.

Устанавливая на щель спектрографа разные части изображения галактик, даваемые объективом телескопа, можно было измерить их лучевую скорость. Оказалось, что галактики вращаются вокруг своей короткой оси, перпендикулярной к плоскости их экватора. Спиральная галактика в Андромеде во внутренних своих частях вращается как твердое тело, например, как колесо телеги. Это означает, что внутренние ее части, дающие мало света и содержащие, казалось бы, поэтому мало звезд, тем не менее имеют большую массу. В галактике в созвездии Треугольника М 33 внутренние части, до расстояния в 3000 световых лет от центра, также вращаются как твердое тело. Наружу, наоборот, скорость вращения уменьшается очень быстро. Отсюда следует, что как и в галактике, находящейся в Андромеде, бóльшая часть массы сосредоточена в центральной области звездной системы. Масса эта составляет почти сотню миллиардов масс Солнца, как это устанавливается вычислением на основании наблюденного закона и скорости вращения.

В. А. Амбарцумян рассчитал, какова была бы яркость той области нашей Галактики, в которой находится Солнечная система, если бы мы могли посмотреть на Галактику издали, так, как мы видим другие звездные системы. Сравнивая эту вычисленную яркость с яркостью различных мест в галактике Андромеды, он пришел к неожиданному выводу.

В галактике Андромеды плотность звезд в пространстве, соответствующая плотности звезд в нашей Галактике в окрестностях Солнца, имеется на расстоянии 5000 световых лет от ее центра,— там, где на фотографиях находятся едва-едва видимые края этой галактики.

Следовательно, по аналогии предполагает Амбарцумян, мы с вами живем на самой далекой окраине своей звездной системы, где население очень редкое. Вероятно, мы находимся за пределами спиральных ветвей, где звездная плотность уменьшена.

Звезды в пространстве группируются, как мы видим, в гигантские системы, часто спиральной формы. Они, как острова, раскинуты в безбрежном океане Вселенной. Острова Вселенной или островные вселенные — вот как часто именуются галактики. В некоторых местах, как, например, в созвездии Девы, галактики группируются в облака галактик— острова Вселенной образуют архипелаг. Облака галактик или группы островов Вселенной напоминают рассеянные звездные скопления, но неизмеримо большего масштаба.

Некоторое время астрономов смущало большое различие между размерами нашей Галактики и других галактик. История науки приучила астрономов к скромности, которой как раз не отличались их предки, считавшие свою Землю центром мира и свое положение во Вселенной особенным.

В тридцатых годах, как мы видели, было окончательно обнаружено поглощение света в Галактике. Учет его влияния на видимый блеск звезд привел к значительному сокращению размеров Галактики. С другой стороны, расстояния, а следовательно, и размеры других галактик оказались несколько бо́льшими, чем находили вначале, так как тщательное измерение фотографий выявило слабо светящиеся внешние части галактик, оставшиеся ранее незамеченными. В результате размеры нашей Галактики и других оказались менее отличными друг от друга. Галактика в Андромеде не уступает нашей.

Несомненно, что когда удастся исследовать подробнее более далекие от нас галактики, среди них окажутся такие, которые больше, чем наша. Но в конце концов, убедившись, что Земля — не центр мира, что она не наибольшая из планет, что наше Солнце не самое большое, не самое яркое, не можем ли мы после всех этих ударов по нашему ложному самолюбию, наконец, «позволить себе роскошь» считать, что мы живем в одной из наибольших галактик, хотя и у ее края? Мы с вами — жильцы крайнего флигеля, но одного из самых крупных домов страны, называемой Метагалактикой.

## ПОДРОБНЕЕ О ГАЛАКТИКАХ

Изучение мира галактик является сейчас наиболее бурно развивающейся областью астрономии, так как именно оно приносит наиболее поразительные открытия и подводит нас к раскрытию самых общих свойств Вселенной, наиболее потрясающих воображение. Поэтому мы посвящаем им следующие разделы.

Хаббл в двадцатых годах составил первую, простую классификацию галактик, недостаточность которой стала осознаваться только в последнее время после знакомства с гораздо бо́льшим числом представителей этого вида населения Вселенной.

Хаббл выделил эллиптические галактики, обозначаемые E, по виду сходные с шаровыми скоплениями нашей Галактики, но более грандиозные. Они бесструктурны, не содержат горячих звезд, сверхгигантов, пыли и газовых туманностей. Плотность звезд в них медленно и плавно падает с удалением от центра, в котором никакого ядра нет. Таких галактик множество. Их пример М 87.

Затем он выделил «неправильные» галактики, обозначаемые Ir, клочковатого строения и неправильной формы. Они меньше, чем эллиптические, и немногочисленны. Яркость их поверхности и светимость невелики, они сильно сплющены, но изобилуют горячими сверхгигантами, газовыми туманностями и пылью. Их пример — Магеллановы Облака: Большое и Малое.

Спиральные галактики Хаббл разбил на два семейства: обычные S и «пересеченные» SB. У первых из них ветви выходят непосредственно из ядра, у вторых ядро пересечено широкой, яркой полосой, называемой перемычкой или баром. Спиральные ветви отходят от концов бара. Кроме того, иногда через концы бара проходит светлое кольцо. В том и другом виде спиральных галактик Хаббл установил три типа, обозначаемые добавлением букв a, b и c. У галактик типа Sa и SBa ядро яркое и большое, а ветви слабые, бесструктурные, аморфные. В галактиках

типа Sb и SBb ветви ярче и несколько клочковаты, а ядро сравнительно менее ярко и меньше. М 31 — галактика Sb. Галактики типов Sc и SBc имеют ядро маленькое и неяркое, а ветви мощные, яркие, сильно клочковатые. Галактика М 33 в Треугольнике типа

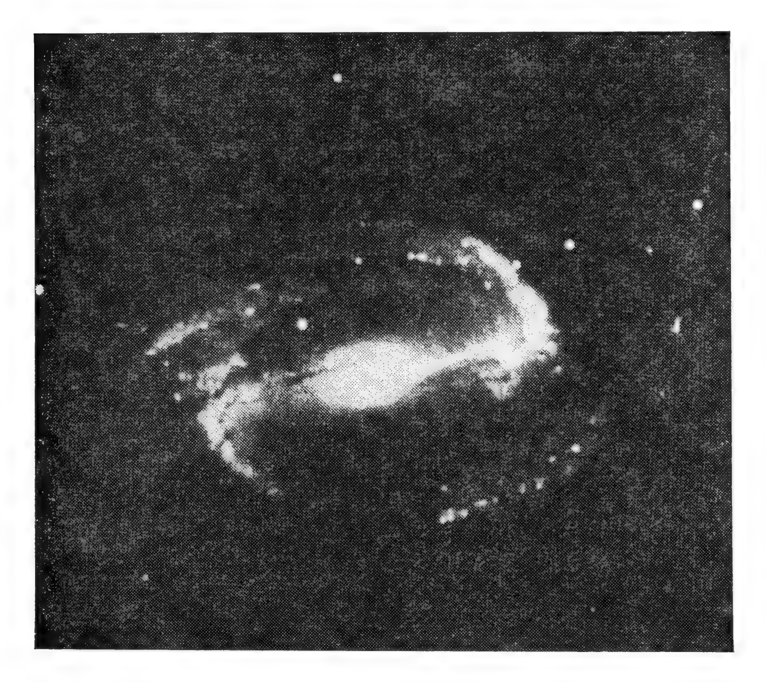


Рис. 181. Пересеченная галактика NGC 1300.

Sc. Увеличение клочковатости ветвей идет за счет увеличения в них числа горячих гигантов и их групп, ярких газовых туманностей, рассеянных скоплений, а в типе Sc также и сверхассоциаций. Из-за присутствия в них горячих гигантов ветви голубее, чем ядро, и голубеют от типа Sa к типу Sc. Светимость и размеры самых гигантских галактик среди эллиптических и спиральных одинаковы. Абсолютная звездная ве-

личина их — $21^m$. Это значит, что они в миллиарды раз ярче нашего Солнца.

Важное значение имеет величина отношения $M : L$ — массы к светимости. У эллиптических галактик $M : L$ составляет десятки, меньше у спиралей, а у неправильных галактик падает примерно до 2—5. Это происходит в результате все бо́льшей роли сверхгигантов в общем свечении системы, так как светимость звезд растет гораздо быстрее, чем их масса.

Спиральные и неправильные галактики испускают умеренное радиоизлучение подобно нашей Галактике и оно обусловлено теми же причинами.

За последние два десятилетия, особенно за последние годы, выяснилось, что природа галактик гораздо разнообразнее, чем представлялось Хabблу, хотя позднее он и ввел типы So и SBo, «промежуточные» между E и спиралями. Они характеризуются наличием плоского диска (плоской составляющей) вокруг большого и яркого ядра, но в этом диске нет пыли и газов и нет спиральных ветвей.

Прежде всего оказалось, что в наших окрестностях есть несколько очень слабых карликовых галактик. Некоторые из них неправильные, другие — сферические, но столь разреженные, что на фотографии выглядят как еле-еле уловимое пятнышко, хотя размер его не так уж мал. А недавно была открыта двойная галактика — пара пигмеев немногим ярче, чем ярчайшие шаровые скопления. От них эти пигмеи отличаются своим независимым положением в пространстве и наличием массы светящихся газов, которых в шаровых скоплениях не бывает. Так, по крайней мере, эллиптические и сферические галактики сильно различаются по светимости, по массе и по степени концентрации звезд — от сверхгигантских до сходных с шаровыми скоплениями и от крайне разреженных, прозрачных до крайне компактных, сильно концентрированных. К таким компактным галактикам, открытым Цвикки в 1964 г., принадлежат и упомянутые пигмеи. На фотографиях, полученных с наибольшими телескопами, компактные галактики еле-еле отличимы от звезд. Иногда их можно

отличить только по большому красному смещению в спектре; и среди них многие имеют большую светимость.

В то же время Цвикки обнаружил, что галактики, которые при передержке центральных частей на фотографиях одинаково выглядят эллиптическими, различаются тем, что у одних в центре есть крохотное звездообразное ядро, а у других его нет. Автор этой книги тоже нашел много галактик, совершенно не укладывающихся в классификацию Хаббла или в ее видоизменения. Среди них интересны галактики, имеющие ветви с противоположным направлением закручивания, и многочисленные кольцевые галактики как с аморфной, так и с клочковатой структурой. Есть галактики с пылевой плоской составляющей, но без яркой компоненты то ли в виде диска, то ли в виде спиральных ветвей. Есть галактики со сложными ядрами, окруженные колоссальным ореолом. Еще раньше были найдены галактики неправильные по форме, но не клочковатые, а аморфные, т. е. лишенные горячих звезд и их скоплений; их обозначают Ir II.

У многих галактик автор этой книги нашел внутренние и внешние ветви совершенно разной структуры (аморфные и клочковатые), переплеты и пересечения ветвей, ветви, образующие восьмерки, превращающиеся в кольца или делающие петли. Эти формы не могут быть объяснены механическими процессами и напоминают возмущенные силовые линии магнитного поля намагниченного шара.

В общем мир галактик оказался поразительно разнообразным. Другие примеры этого многообразия мы увидим еще и в последующих очерках.

Недавно автором этой книги и его сотрудниками в Московском университете был издан каталог, содержащий 30 000 галактик и дающий их положение на небе, яркость, размеры, цвет, скорость движения, подробное описание и ссылки на все данные, известные о каждой из них. Этот каталог обозначается MCG (Морфологический каталог галактик). Он содержит все галактики ярче $15^m$ до склонения $-45°$.

Скажем теперь подробнее о некоторых ближайших к нам островах Вселенной.

Магеллановы Облака в созвездии Золотой Рыбы, спутники нашей Галактики, крайне интересны тем, что это ближайшие к нам Галактики, структуру и движение которых, а также самые яркие объекты в

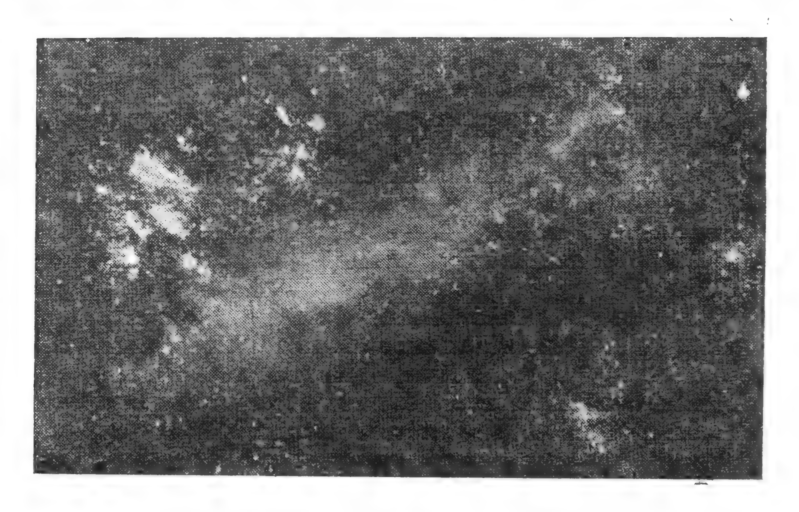


Рис. 182. Большое Магелланово Облако.

них можно изучать наиболее подробно. Так, например, в них (находящихся от нас на расстоянии около 44 000 парсек) доступны для измерения блеска и цвета звезды ярче +1-й абсолютной звездной величины. Те же, которые ярче — 6-й величины, могут быть изучены спектральными методами довольно подробно. Большая ось Большого Магелланова Облака (БМО) имеет длину 12 килопарсек, а Малого Магелланова Облака (ММО) — 4 килопарсека. Они окружены общей оболочкой из нейтрального очень разреженного водорода размером $3 \times 15$ килопарсек. Оба облака погружены в нее, и это указывает на то, что они не только близки друг к другу, как мы их видим, но связаны более тесными узами. Этот вывод подтверждается обнаружением сравнительно плотной газовой

перемычки между облаками. Скорости их относительно центра нашей Галактики составляют +40 (БМО) и —15 (ММО) *км/сек*. Определенная по вращению масса БМО составляет $10^{10}$ масс Солнца, т. е. в 15 раз меньше, чем масса нашей Галактики. Считаемые по форме неправильными галактиками, они, особенно БМО, носят явные черты структуры пересеченных спиралей. Изучается распределение внутри БМО более 200 000 звезд, имеющих абсолютную величину больше $0^m$.

В БМО наблюдаются долгопериодические и короткопериодические цефеиды и другие типы переменных звезд, голубые гиганты различных типов, газовые и пылевые облака. Там же находится, между прочим, самая яркая из известных нам звезд — S Золотой Рыбы. Эта слегка переменная звезда примерно в миллион раз ярче нашего Солнца.

В Магеллановых Облаках видны и изучаются много десятков рассеянных и шаровых скоплений, среди них такие скопления, которые не только по размеру, но и по структуре и по составу звезд не имеют известных нам аналогов в нашей Галактике. Цефеиды в Магеллановых Облаках по светимости оказались несколько отличными от цефеид того же порядка, известных в нашей Галактике. Словом, после важнейших открытий первого времени, говоривших о сходстве населения спиральных ветвей нашей Галактики и БМО, более детальное исследование показало второстепенные отличия. Однако эти отличия, по-видимому, характерные для галактик вообще, говорят о многообразии природы (что важно принципиально) и затрудняют точное определение расстояний до галактик по видимой яркости объектов, казалось бы, совершенно сходных между собой.

Доля нейтрального водорода относительно общей массы в Магеллановых Облаках является наибольшей среди известных галактик. Она составляет от 20 до 30 % их полной массы. Химический состав светящихся газовых туманностей в Облаках и в нашей Галактике оказался одинаковым.

Неправильные галактики имеют умеренные и малые светимости, большинство их — карлики, в среднем с абсолютной величиной $-14^m$ и с диаметрами 1,5—3 тысячи парсек.

Магеллановы Облака принадлежат к наиболее ярким и крупным неправильным галактикам.

М 31 — ближайшая к нам спиральная гигантская галактика, как полагают, крайне сходная с нашей Галактикой. Но она в 10 раз дальше от нас, чем Магеллановы Облака, и потому однотипные объекты в ней представляются нам в 100 раз более слабыми. Изучению структуры этой галактики мешает большой наклон ее плоскости к лучу зрения. Специальными поисками в ней обнаружено множество долгопериодических цефеид и других ярких переменных звезд, зарегистрировано около 170 новых звезд,— больше, чем в нашей Галактике (!), в которой мы видим лишь ближайшие к нам. В ней обнаружено несколько сотен диффузных газовых туманностей, которые с замечательной правильностью, как бусинки на нитке, обрисовывают расположение ярких спиральных ветвей.

За последние годы выяснилось, что волокна космической пыли, сопровождающие яркие наружные спиральные ветви, прослеживаются дальше к центру внутри бесструктурной, аморфной по виду «линзы», или главного тела галактики. Это дает повод некоторым ученым говорить, что спиральные ветви начинаются очень близко от ядра в форме темных, пылевых ветвей, превращающихся затем в светлые. Правильнее, однако, сказать, что эти темные волокна, сначала разбросанные и не связанные друг с другом, с удалением от центра утолщаются и потом начинают сопутствовать ярким, состоящим из звезд спиральным ветвям. Последние имеют сначала аморфный вид и не содержат звезд-сверхгигантов, постепенно появляющихся в ветвях по мере их удаления от линзы. Также растет число светлых газовых туманностей, и в конце концов ветви разрежаются, а спиральная структура как бы рассеивается, хотя области уменьшающейся звездной плотности простираются

намного дальше. Сравнение показывает, что наша Солнечная система, помещенная от центра М 31 на такое же расстояние, на какое она отстоит от центра Галактики, находилась бы на границе еще ясно видимых спиральных ветвей, в области сравнительно очень низкой звездной плотности.

В М 31 существует маленькое ядро с чрезвычайно быстрым вращением. Это ядрышко выглядит совершенно звездообразным и лишь в самые крупные телескопы отличимо от одиночных звезд, а ведь это целое звездное скопление, необычайно сконденсированное! Его видимая звездная величина $14^m,5$, а абсолютная звездная величина — $10^m$, т. е. оно несколько ярче, чем самые яркие шаровые скопления, входящие в ту же галактику. Но здесь различие по составу звезд больше: ядро М 31 состоит, по-видимому, из красных и желтых гигантов обычного химического состава, а в шаровые скопления входят гиганты с пониженным содержанием металлов.

Другая ближайшая к нам спиральная галактика (М 33 в Треугольнике, типа Sc) в шесть раз слабее по светимости, чем М 31, и по диаметру в три с лишним раза меньше, чем наша.

Среди эллиптических галактик также есть гиганты и карлики. Самыми яркими и крупными из известных являются две эллиптические галактики в скоплении Девы: NGC 4486 (М 87) и NGC 4472 (М 49) с диаметрами 22 000 и 31 000 парсек. Границы эллиптических галактик еще условнее, чем границы спиральных. Если за границу брать места, где поверхностная яркость едва отличима от фона чистого ночного неба, то размеры сверхгигантских эллиптических и спиральных галактик оказываются примерно одинаковыми и составляют, как мы видим, около 30 000 парсек, или почти 100 000 световых лет. Однако вблизи нас гигантских эллиптических галактик нет, и их расстояния, а следовательно, и светимости и размеры определяются по красному смещению.

В наших окрестностях находятся только карликовые эллиптические галактики — спутники спиральной галактики М 31 в Андромеде. Их абсолют-

ные величины около — $15^m$, а размер около 3500 парсек.

«Крайние карлики», какими являются слабые сфероидальные галактики в наших окрестностях — в Печи, в Скульпторе, а тем более открытые позднее системы Лев I и Лев II, очень слабы: от — 12 до — 8

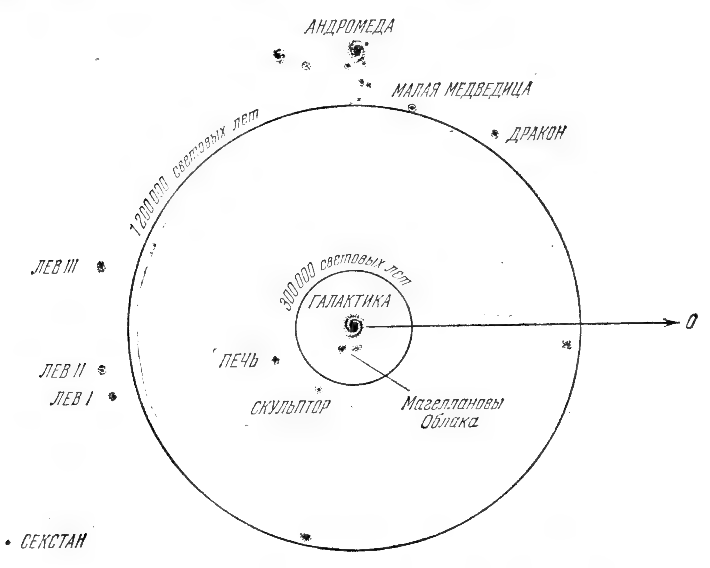



Рис. 183. План Местной группы галактик.

абсолютной величины. Их размеры «всего» порядка 3000 световых лет.

Полная кривая светимости галактик вообще как следует еще не установлена и только для более ярких галактик в скоплениях известна более или менее надежно. Полагают, что в разных скоплениях она может быть различной. Выяснить этот вопрос трудно из-за того, что нельзя с полной уверенностью отделить галактики, принадлежащие скоплению, от галактик, случайно проектирующихся на него.

Наша Галактика находится в изолированной группе, называемой *Местной группой* или *Местной*

*системой галактик* (рис. 183). В ней выделяются две главные группы со сверхгигантами в каждой. Это наша Галактика с ее спутниками — Магеллановыми Облаками и М 31 с ее несколькими эллиптическими спутниками. После открытия «крайних карликов» — сфероидальных галактик типа Скульптора и других неправильного типа,— оказалось, что в нашей Местной системе карлики преобладают. На две сверхгигантские системы приходится одна умеренная по размерам спираль (М 33 в Треугольнике), две компактные карликовые эллиптические галактики (NGC 205 и 221), две довольно разреженные (NGC 147 и 185), шесть сфероидальных крайне разреженных (в Печи, Скульпторе, Лев I, Лев II, в Малой Медведице, Драконе), неправильные галактики (Магеллановы Облака, NGC 6822, IC 1613, система Вольфа — Лундмарка, три системы Хольмберга и, может быть, три карлика в Секстане, еще мало изученные). Итак, у нас в Местной системе две гигантские спирали, одна средняя спираль и 17—20 карликов, преимущественно эллиптических и сфероидальных. Получается, что карлики являются преобладающими, и средняя абсолютная величина галактик теперь сильно сдвинулась в сторону малых светимостей.

В какой мере кривую светимости галактик в наших окрестностях можно приписать скоплениям галактик и всей Метагалактике, не ясно. В скоплениях преобладают эллиптические галактики и они же часто являются самыми яркими, а в наших окрестностях эллиптических сверхгигантов совсем нет. Автор этой книги обнаружил, что существуют группы больших галактик без карликовых спутников.

Поэтому и насыщенность карликами общего поля Метагалактики и скоплений галактик может быть иной, чем мы это находим в Местной системе. Слабые карлики, с трудом открываемые даже в нашем соседстве, на больших расстояниях не видны. Но ученые пытаются найти более яркие карлики в ближайших скоплениях. В скоплении в Деве в 1956 г. обнаружено полсотни карликов со слабой концентрацией яркости к их центру. Их абсолютная величина око-

ло — $13^m$. Но они считаются не похожими на галактики типа Скульптора, которые на две-три звездные величины слабее. Их относят к новому типу — типу IC 3475. В скоплении в созвездии Печи тремя годами позднее также нашли 16 карликов с малой концентрацией света к центру. Таким образом, в больших, рассеянных скоплениях карлики есть, но их процент, видимо, меньше, чем в Местной системе.

Астроном Цвикки считает, что кривая светимости галактик должна продолжаться до таких малых систем, как шаровые звездные скопления в нашей Галактике и даже ниже, но его мнение, видимо, не разделяют другие исследователи.

Все сказанное имеет отношение и к статистике типов галактик. По Вокулеру, среди полутора тысяч ярких галактик на эллиптические приходится 13%, на считаемые обычно переходными (типа SO) — 21,5%, на спиральные — 61,1% и на неправильные — 4,4% (самые немногочисленные). Спиральные же галактики наиболее многочисленны; среди них преобладают спирали Sb, Sc, SBb. «Ранние» спирали Sa редки, но ведь это большие по видимой яркости галактики. Они ярче 13-й звездной величины.

В наших окрестностях и в ближайших скоплениях преобладают эллиптические галактики.

Мы уже отмечали, что в спиральных галактиках, видимых с ребра, наблюдается экваториальный слой космической пыли в виде темной полосы. По нашему исследованию в разных галактиках толщина его весьма различна. Темную материю можно «ощутить» и в спиральных галактиках, видимых плашмя, в виде темных, разветвленных каналов (в М 33) или в виде отдельных пятен в спиральных ветвях, по их внутренней или по внешней стороне. Иногда пылевая материя тянется вдоль бара.

Комплексы светлых диффузных туманностей непосредственно видны даже в довольно далеких спиральных и неправильных галактиках, имеющих много горячих звезд и скоплений их. Такие галактики очень клочковаты. В некоторых ближайших галактиках, как в М 33 в Треугольнике, в М 31 в Андромеде,

в Магеллановых Облаках, видны даже отдельные диффузные туманности.

В Большом Магеллановом Облаке есть гигантский комплекс газовых туманностей, окутывающий огромное скопление горячих гигантов. Туманность называют Тарантул, а подобные гигантские комплексы горячих звезд и газа В. А. Амбарцумян называет сверхассоциациями. Если бы Тарантул находился на месте туманности Ориона, предметы на Земле, освещенные им, отбрасывали бы тени.

В M 31 открыто несколько сотен диффузных туманностей и изучено их расположение, обрисовывающее спиральные ветви, но не вполне совпадающее со звездными ветвями. Они надежнее обнаруживаются (когда они малы из-за дальности расстояния) по снимкам в лучах красной водородной линии $H_\alpha$(через красный светофильтр). Такими эмиссионными сгустками пользуются для изучения вращения периферических частей галактик, звездный спектр которых слишком слаб для его регистрации, тогда как яркие линии туманностей регистрируются легче.

В интегральном спектре многих галактик видны линии $H_\alpha$ и $\lambda$ 3727—29 Å (запрещенные линии ионизованного кислорода), производимые суммарным светом входящих в них туманностей. Когда яркая линия $H_\alpha$ видна на всем протяжении галактики, ею пользуются для изучения вращения этой системы.

Статистика показывает, что чем более ранними являются типы галактик, т. е. чем меньше в них горячих гигантов, тем реже видны в их спектрах яркие линии. В эллиптических галактиках газа практически нет. Аро (Мексика) открыл несколько галактик, еще не изученных, в которых яркие линии сильнее, чем даже в неправильных галактиках.

Радионаблюдения уже позволяют обнаруживать тепловое излучение газов в ближайших галактиках и даже определять их скорости в разных местах, устанавливая вращение этих звездных систем по линии водорода 21 *см*.

Начинают строить, пока еще грубые, карты распределения нейтрального водорода в них. Согласно

статистике полная масса газа составляет такой процент от общей массы галактик разных типов:

| Неправильные | Sc | Sb |
|---|---|---|
| 17 | 8 | 1 |

(наша Галактика относится к типу Sb или Sc).

Планетарные туманности в других галактиках с достоверностью уже обнаружены. Предполагают, что такими являются две-три маленькие туманности в М 31 и несколько десятков в Магеллановых Облаках. В пользу этого вывода говорят малые размеры туманностей и их повышенная ионизация. Их светимость велика— абсолютная звездная величина порядка— $3^m$.

Определение отношения количества водорода к количеству гелия в туманностях других галактик показало, что оно такое же, как в нашей Галактике, так что пропорция разных химических элементов в Метагалактике, по-видимому, одна и та же.

Таким образом, диффузная материя играет в Космосе огромную роль.

За последние годы с искусственных спутников Земли, специально созданных для этого, было открыто к 1975 г. почти 200 источников космического рентгеновского излучения. Его испускают оболочки, выброшенные сверхновыми звездами, нейтронные звезды — пульсары, в которые сверхновые звезды превратились, и спутники некоторых звезд. Возможно, что рентгеноизлучающая плазма у некоторых белых карликов тоже на это способна. Излучает рентгеновские лучи и наше Солнце.

Но есть много и внегалактических рентгеновских источников. Это некоторые радиогалактики, их ядра, а также протяженные источники, связанные с плазмой, рассеянной по объемам скоплений галактик.

## ГРУППЫ И СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Среди галактик известно немало двойных систем, сходных по яркости и размерам. Существуют и карликовые галактики — спутники, например, у М 31 есть два близких к ней спутника — карликовые эллиптические галактики.

К сожалению, расстояния подавляющего большинства галактик, находящихся на небе друг подле друга, неизвестны. Поэтому обычно неизвестно, является ли данная слабая галактика-соседка действительно спутником или же это более далекая галактика, проектирующаяся рядом с яркой совершенно случайно.

Статистические подсчеты говорят в пользу того, что кажущиеся двойными и кратными галактики в большинстве случаев, вероятно, и физически, реально, являются таковыми. Очень часто встречаются, по-видимому, кратные галактики, т. е. небольшие группы их.

Примером довольно рассеянной группы крайне разнообразных галактик служит наша Местная система галактик. Есть и более тесные группы.

Расстояния между членами двойных и кратных звезд обычно в сотни и тысячи раз превышают их диаметры, а расстояния членов в группах галактик превосходят их диаметры лишь в несколько раз. Нередки случаи, когда они касаются друг друга, а частично и проникают друг в друга!

В большинстве случаев кратные звезды имеют структуру такого рода. Одна тесная пара звезд обращается на большом расстоянии около общего центра масс с одиночной звездой или с тесной же парой звезд.

Кратные звезды, члены которых отстоят друг от друга на сравнимые расстояния, очень редки. Такие группы академик В. А. Амбарцумян назвал трапециями, так как к их типу принадлежит, например, четверная звезда, каждый член которой находится в вершине фигуры, называемой в геометрии трапецией.

В. А. Амбарцумян показал, что системы тел типа трапеции должны быть неустойчивы. Они достаточно скоро должны распасться, а члены их — удалиться друг от друга и потерять взаимную связь. Это произойдет оттого, что их взаимные притяжения по силе сравнимы друг с другом, действуют по разным направлениям и не в одной плоскости, и потому никакой устойчивый вид движения, никакие устойчивые орбиты у них невозможны.

Амбарцумян обратил также внимание на то, что в то время как среди кратных звезд преобладают системы с устойчивыми конфигурациями и видами орбит, среди кратных галактик преобладают неустойчивые конфигурации и орбиты. Он сделал вывод, что следовательно, те системы звезд и галактик, которые образуют трапеции, являются более молодыми образованиями (раз мы их видим и они еще не распались). Возраст таких кратных галактик должен быть много меньше, чем возраст нашей Галактики, который оценивается примерно в $10^{10}$ лет или больше.

Несравненно легче, чем реальные кратные галактики, выявляются облака и скопления галактик. Облаками галактик называют рассеянные скучивания их, а скоплениями — более компактные кучи, но и они делятся на концентрированные и рассеянные.

Первыми бросаются в глаза образования, более близкие к нам и состоящие из галактик, кажущихся более яркими и крупными. Это соседние облака галактик в созвездиях Большой Медведицы и Гончих Псов, рассеянное скопление в Деве и сконцентрированные скопления в Волосах Вероники и Северной Короне. В последних видна сферическая симметрия. Они состоят преимущественно из галактик типов E и So.

Облака Большой Медведицы и Гончих Псов на небе занимают громадную площадь $30 \times 40°$, скопление в Деве — не менее чем $25 \times 40°$, скопление в Волосах Вероники диаметром $12°$. В скоплениях и облаках, не имеющих сферической симметрии, заметно существование подсистем. Так, в Деве проектируются друг на друга два довольно близкие друг к другу скопления. Одно из них состоит преимущественно из спиральных галактик, другое преимущественно из эллиптических. Из последних состоят в основном компактные скопления.

Облака Большой Медведицы и Девы отстоят от нас примерно на 10 мегапарсек (миллионов парсек) — они ближайшие к нам. Первое насчитывает членов ярче 13-й видимой звездной величины более 200, вто-

рое — более 150, а скопление в Волосах Вероники — 30 000 членов ярче 19-й звездной величины! Но в них

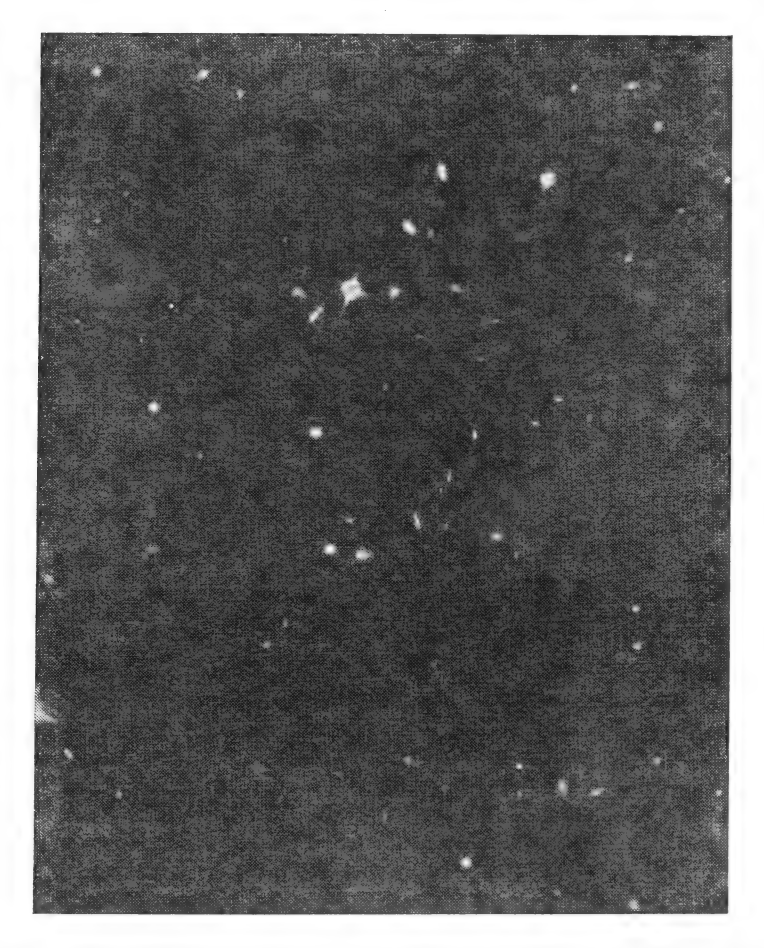


Рис. 184. Центральная часть скопления галактик в созвездии Северной Короны.

должно входить много, может быть, еще гораздо больше, карликовых галактик! Ярчайшие из них недавно обнаружены в близких скоплениях — в Деве и в Печи.

Галактики обнаруживают сгущение к центру скопления, около которого нередко находятся ярчайшие и наиболее массивные его члены (распределение галактик вдоль радиуса компактных скоплений такое же, как распределение молекул в так называемом изотермическом газовом шаре и указывает на стационарность такого скопления).

В самое последнее время начато статистическое изучение скоплений (о детальном их изучении пока нельзя и мечтать!).

Оценены очень грубо число ярких членов, степень близости их к нам, размер и положение на небе почти 2000 скоплений, содержащихся в каталоге скоплений. В одной лишь (правда, из самых богатых) области, размером $6 \times 6^{\circ}$, Цвикки насчитал 120 000 галактик, принадлежащих 100 скоплениям, находящимся от нас на расстоянии от 200 до свыше 600 млн. парсек.

Надежные определения расстояний до скоплений требуют длительной кропотливой работы как в виде ночных наблюдений, так и последующего изучения фотографий. Дело в том, что для определения расстояния по красному смещению надо сфотографировать спектры нескольких галактик далекого скопления, а это требует многих часов утомительного фотографирования спектра. Определение расстояния по видимой звездной величине 5-й (или другой, в порядке яркости) галактики требует правильного ее измерения и введения еще некоторых поправок, известных не очень точно. Например, надо учесть, что из-за красного смещения всего спектра далекая галактика кажется краснее, чем она есть на самом деле, а от этого она кажется и слабее, чем есть в действительности. Затем предполагается, что светимость 5-й или другой галактики в порядке яркости во всех скоплениях одинакова. Справедливость же этого предположения вызывает сомнение.

Уже давно все исследователи пришли к заключению, что большинство галактик находится внутри скоплений и что между ними в «общем поле» галактик меньше. Это создает неоднородную плотность внутри

Метагалактики. Но существуют ли скопления скоплений? Или скопления заполняют видимую нами часть Метагалактики равномерно?

Вокулер привел убедительные доводы в пользу того, что яркие, ближайшие галактики образуют сверхсистему сплющенной формы — «сверхгалактику». В центре ее находится скопление Девы, играющее роль ее ядра. В нее входит облако Большой Медведицы и наша Местная группа галактик, находящаяся вблизи плоскости симметрии этой сверхсистемы. Поэтому яркие галактики образуют для нас кольцо, подобное Млечному Пути. Однако многие ученые считают, что сверхскопления, состоящих из многих скоплений галактик не существует. В то же время Цвикки утверждает, что скопления галактик разбросаны в пространстве довольно равномерно и вблизи нас и где угодно. Он же считает, что в пространстве между галактиками существует много звездных скоплений и отдельных звезд, а также облаков космической пыли. По его мнению, в богатых скоплениях много пыли и там она экранирует от нас более далекие скопления.

Неясность в вопросе о распределении скоплений в пространстве является серьезным препятствием для попыток сравнения с реальностью различных космологических моделей — конечной и бесконечной Вселенной с евклидовым или неевклидовым пространством, расширяющейся или стационарной и т. д.

В настоящее время наибольшему в мире телескопу доступны, вероятно, миллиарды галактик — точно подсчитать их было бы крайне трудно и едва ли это стоит делать. Важно то, что незаметно никакого уменьшения в числе галактик и их скоплений с увеличением расстояния до них. Другими словами, нет признаков того, чтобы мы приблизились уже к границам Метагалактики,— этого чудовищного архипелага островных вселенных, к которому принадлежат все видимые нами галактики. Мы изучаем пока только какую-то часть Метагалактики. Быть может, существуют и другие метагалактики.

## ВАШ АДРЕС В БЕЗГРАНИЧНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Подведем итог развитию наших знаний о месте Человека во Вселенной, насколько мы представляем себе сейчас ее строение. Представим этот итог в виде вашего адреса, уважаемый Читатель:

Безграничная Вселенная
«Наша» Метагалактика
Местное скопление галактик
Наша Галактика
Звездное облако «Местная система»
«Наша» Солнечная система
Планета Земля
Советский Союз
РСФСР (или др.)
Город
Улица
Дом №
Квартира №
Гр. . . .

## ОТ АТОМНОГО ЯДРА ДО МЕТАГАЛАКТИКИ

Человек пытливым разумом проникает в тайны строения системы как невидимых глазу по всей малости, так и чудовищно громадных. Интересно сравнить, как далеко он проник в том и другом направлении. Изучая системы, из которых он состоит сам, человек дошел до атомного ядра, имеющего диаметр $10^{-13}$ *см*, т. е. примерно в $10^{15}$ раз меньшего, чем он сам. Изучая системы, частью которых он является сам, он встречает в $10^{15}$ раз бóльшую систему уже в виде Солнечной системы (известный нам сейчас диаметр нашей Солнечной системы, строго говоря, меньше,— он составляет только $10^{15}$ *см*).

Диаметр известной нам сейчас части Метагалактики составляет около $10^{28}$ *см*. В области Космоса мы проникли, другими словами, в 100 миллионов раз дальше, чем в области микромира мельчайших частиц. Тем не менее, свойства величайших мировых систем делаются доступными астрономам лишь на основе изучения мельчайших частиц, исследуемых физикой. Но и в деле изучения этого микромира

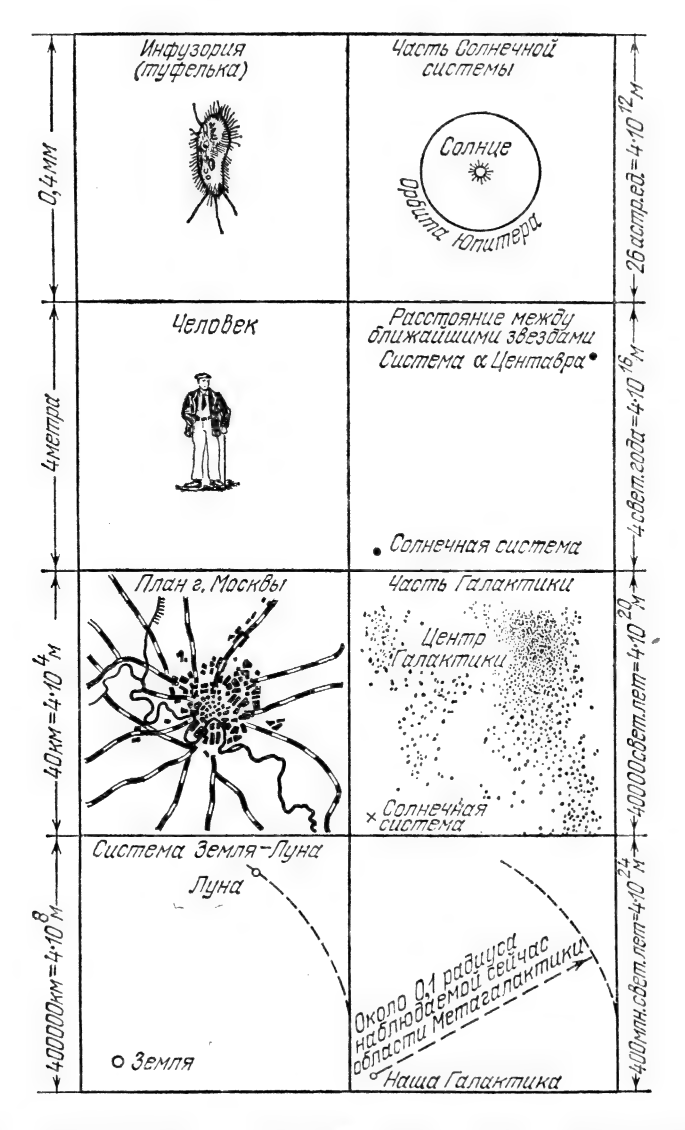



**Рис. 185.** Масштабы во Вселенной. Сторона каждого последующего квадрата в 10 000 раз больше стороны предыдущего. На рисунке показано, что могло бы уместиться в каждом квадрате.

огромную помощь приносит наблюдение процессов в Космосе, заменяющих неосуществимые в лаборатории опыты. Великое и малое слиты в единстве природы.

В самом деле, для уяснения строения и свойств вещества необходимо изучать его во всевозможных условиях. Однако в земных лабораториях мы пока не можем создать таких разнообразных давлений и температур, какие существуют в звездах и туманностях. Вспомните изучение состояния недр звезд — белых карликов, открытие гелия на Солнце и уже впоследствии обнаружение его на Земле. Так, побеждая природу, человек в известном смысле заставляет служить ему и небесные тела, изучая которые он глубже познает законы природы.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЛАКТИК

Еще оба Гершеля и Росс (открывший в свой телескоп спиральную структуру ряда галактик) в первой половине XIX века обнаружили и зарисовали туманности, соединенные перемычками или почти сливающиеся друг с другом. Природа этих туманных пятен была тогда еще не известна, но в наше время внимание к ним привлек Цвикки из Паломарской обсерватории (США). Он описал ряд удивительных систем — галактик, соединенных узкими светящимися полосами, которые он назвал мостами или перемычками. Еще чаще бывает, что у близких друг к другу галактик, или у одной из них, наблюдаются яркие хвосты. Подобие такого хвоста, направленного прочь от нашей Галактики, было обнаружено у Большого Магелланова Облака — спутника нашей Галактики.

Автор этих строк, предприняв специальные поиски, нашел несколько сотен систем, где две или более галактик, близких друг другу, соединены перемычками, проникают друг в друга, имеют хвосты, погружены в общий светящийся туман или же имеют искаженную спиральную форму. Все это является следствием их взаимодействия и, несомненно, совместного их происхождения. Выяснилось, что перемычки, хвосты и обволакивающие «туманы», в кото-

рые иногда погружены целые группы галактик, в основном состоят из звезд и иногда имеют примесь светящегося газа.

Для примера назовем пару эллиптических галактик NGC 750-1, соединенных тонкой перемычкой. При

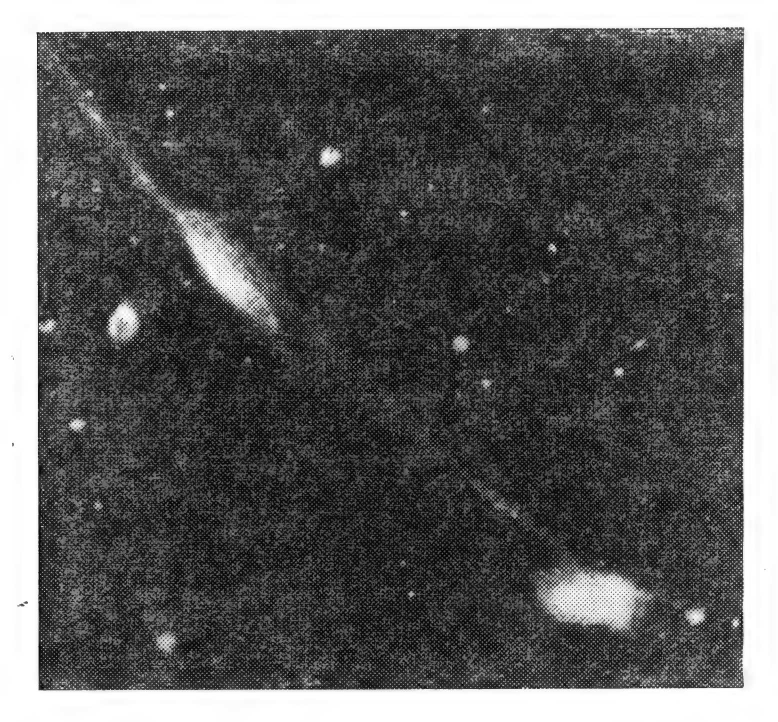


Рис. 186. Галактики в созвездии Рыб, соединенные светящейся перемычкой длиной более 200 000 световых лет.

длительной экспозиции вся эта система оказалась погруженной в обширный звездный туман.

Другой пример представляет пара спиральных галактик, соединенных перемычкой, которая тянется на 200 000 световых лет, что превышает размеры самих галактик. При этом у одной из галактик имеется почти такой же длинный хвост. В случае яркой и близ-

кой к нам галактики М 51 в созвездии Гончих Псов перемычкой является одна из спиральных ветвей большей галактики. Автор нашел ряд подобных ей пар.

Внимание обращает на себя тот факт, что хвосты встречаются гораздо чаще, чем перемычки, и обычно

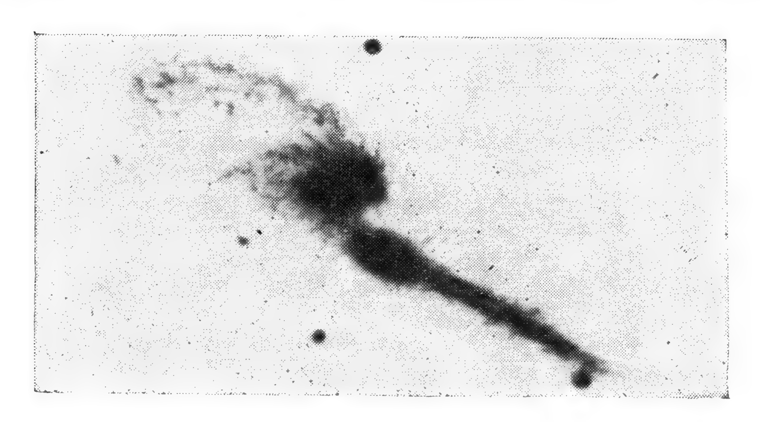


Рис. 187. Пара галактик «Мышки» NGC 4676 с перемычкой и хвостом загадочно большой длины и яркости у одной из них. (Негативное изображение.)

они ярче. Особенно резко это видно на примере системы NGC 4676 (Мышки), обнаруженной автором.

Объекты, изображенные в «Атласе взаимодействующих галактик», стали всесторонне изучаться в разных странах. Чрезвычайно интересен Атлас пекулярных (особенных) галактик, составленный в 1966 г. Арпом. Он сфотографировал на 5-метровом телескопе половину объектов из «Атласа взаимодействующих галактик» и одиночные необыкновенные галактики. Благодаря в пять раз большему масштабу и специальным мерам, потрясающие особенности их выявились особенно четко. Автор этой книги доказал, что описанные явления взаимодействия — это не приливные и антиприливные выступы, как до сих пор считали. Наоборот, прилив должен быть сильнее на стороне, обращенной к возмущающему телу. Кроме того, у пар галактик часто заметно,

что они менее ярки на сторонах, обращенных друг к другу; ярких белых звезд, обрисовывающих спиральные ветви, там мало. Деформации подвергаются именно спиральные ветви, происхождение которых не получило еще удовлетворительного объяснения.

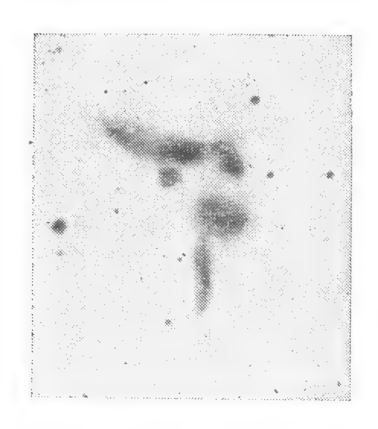


Рис. 188. Тесное «гнездо» галактик, из которого «птенцы», по-видимому, разлетаются. Пока они погружены в общий светящийся «туман».

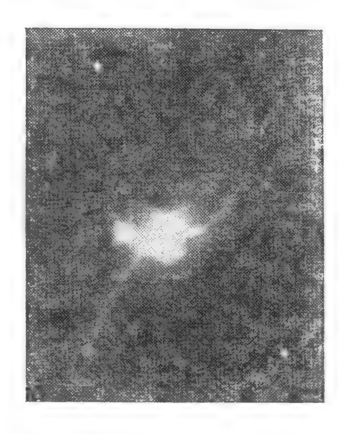


Рис. 189. Удивительная пара слившихся галактик с «антеннами», достигающими длины 50 000 световых лет.

Изучение двух атласов взаимодействующих галактик, изданных в 1959 и 1976 гг., убедило автора этих строк в том, что еще и сейчас происходит процесс фрагментации галактик. Некоторые крупные галактики распадаются на две-три части или же от них на периферии отпочковываются малые спутники. Начальной фазой фрагментации являются «гнезда» галактик (рис. 188 и 189), превращающиеся в рассеянные группы их. Надо думать, что формы взаимодействия галактик объясняются не только действием приливов по закону тяготения, но и еще не изученными электромагнитными взаимодействиями. Однако мы наблюдаем перемычки и хвосты и у эллиптических галактик, не содержащих газа. Это заставляет думать, что мы натолкнулись на какие-то свойства, которыми такая система, как галактика, обладает в целом.

Это какие-то совершенно новые свойства и между галактиками могут действовать силы иной природы, чем уже знакомые нам тяготение и магнетизм.

Нет ничего невероятного в этой возможности. Вместо тяготения в мире молекул возникают молекулярные силы, а в мире еще более мелких частиц, в ядрах атомов,— ядерные силы и квантовые процессы. Несомненно, что и в области систем все возрастающих размеров на смену тяготению, в основном определяющему движение планет и двойных звезд и их формы, где-нибудь выступят новые силы или формы взаимодействия.

Если эти представления подтвердятся, то окажется, что человек проник не только в особые законы, управляющие превращениями элементарных частиц в атомах, но и в особые законы наиболее крупных среди известных нам материальных систем.

Быстродействующие электронные вычислительные машины позволили рассчитать движение частиц, обращающихся в одной плоскости вокруг ядра галактики под действием приливного возмущения, производимого другой галактикой, пролетающей мимо нашей со скоростью, близкой к параболической. Выяснилось, что должны образовываться перемычки и хвосты, все же далеко не объясняющие многообразие наблюдаемых форм.

## РАДИОГАЛАКТИКИ И ЗАГАДОЧНЫЕ КВАЗАРЫ

Нормальные спиральные и неправильные галактики испускают радиоизлучение, сравнимое с радиоизлучением нашей Галактики. Это радиоизлучение усиливается при переходе от галактик Sa к галактикам Sc и к неправильным, вместе с увеличением содержания в них горячего водорода. На это тепловое излучение, непрерывное по спектру, накладывается еще излучение нейтрального водорода на длине волны 21 *см* и непрерывное нетепловое излучение, обусловленное торможением космических лучей в магнитном поле галактики.

Были обнаружены, кроме того, радиогалактики, посылающие необыкновенно много нетеплового

радиоизлучения. Оно объясняется магнитным торможением чрезвычайно большого числа электронов и протонов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, и называемых релятивистскими.

Между светимостью галактики в оптических лучах и в радиодиапазоне нет пропорциональности.

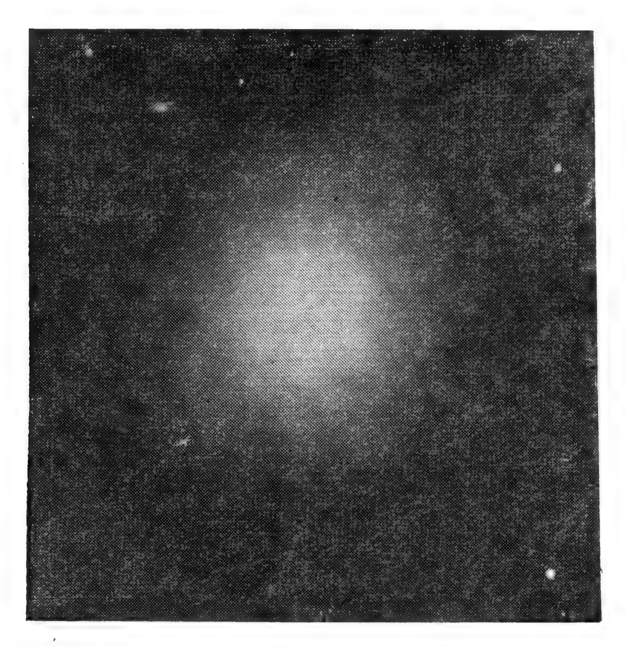


Рис. 190. Галактика М 87 со скоплениями.

Ближайшими к нам радиогалактиками являются NGC 5128 или Центавр А и М 87 (NGC 4486), или Дева А. Их видимый блеск $8^m$ и оптическая светимость велики. Расстояние до них равно 30 млн. световых лет.

Между тем самой мощной из известных радиогалактик и даже самым мощным внегалактическим видимым источником является очень далекая галактика Лебедь А. Она имеет звездную величину $16^m$, т. е. в полторы тысячи раз слабее предыдущих по види-

мому блеску и отстоит от нас в 20 раз дальше, чем Центавр А. Поток радиоизлучения от нее на Земле в 10 раз больше, чем от Центавра А, а радиосветимость больше примерно в 4000 раз.

Сейчас с каждым годом открывают все новые и новые, все более слабые источники радиоизлучения,

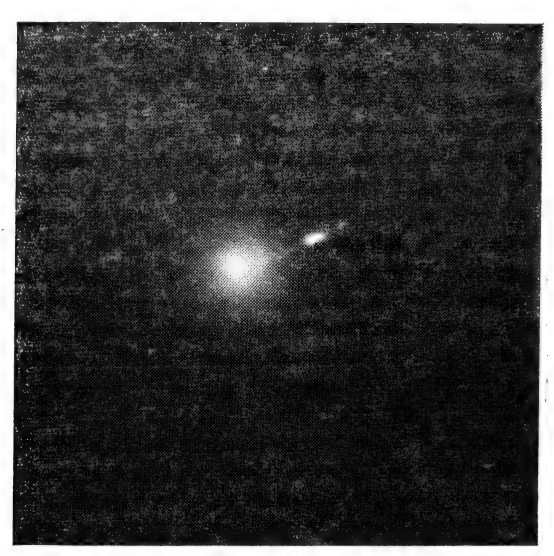


Рис. 191. Фотография центральной части радиогалактики М 87.

которые постепенно отождествляются со все более слабыми, т. е. со все более далекими галактиками. Число известных радиогалактик быстро возрастает.

Вначале предполагали, что колоссальное радиоизлучение возникает, когда сталкиваются газовые массы, которыми начинены две соударяющиеся галактики. Но автор этой книги еще в 1957 г. показал, что этого не может быть по ряду соображений. Постепенно всеми было признано, что мощное радиоизлучение свойственно одиночным галактикам, а не является следствием столкновения двух галактик. Однако, с другой стороны, оказалось, что большинство внегалактических источников являются двойны-

ми. Радиоизлучающие компоненты в среднем отстоят друг от друга на 600 000 световых лет, а оптически видимая галактика находится между ними и излучает радиоволны более слабо. Вообще, как правило, радиоизлучающая область оказывается гораздо большей, чем оптическая видимая галактика. Например, галактика NGC 5128 имеет размер около $90 \times 70$ тыс. световых лет, почти круглая, а связанный с нею радиоисточник Центавр А сильно вытянут и длина его свыше полутора миллионов световых лет! В случае Лебедя А два облака имеют диаметр по 200 000 световых лет, а расстояние между их центрами 300 000 световых лет. Находящаяся между ними оптически видимая галактика гораздо меньше. В 1966 г. вблизи нее были открыты еще четыре симметрично расположенных, почти точечных радиоисточника, чем ее радиоструктура осложняется еще больше.

У радиогалактик NGC 5128 и М 87 обнаружены в оптических лучах две особенности. Обе они по форме и структуре обычные эллиптические галактики, почти сферические, но первая из них пересечена необычайно мощной и клочковатой темной полосой, а вторая имеет отходящий от ее центра узловатый отросток, считаемый выбросом. Большинство радиогалактик имеет в спектре яркие, иногда очень широкие полосы. Много усилий было затрачено на то, чтобы обнаружить у радиогалактик какие-либо общие особенности в их форме или в виде их спектра. Однако их не нашлось. Мы никогда не знаем, какая из галактик окажется радиогалактикой. Более того, автор этой книги показал, что среди обычных, не радиоизлучающих галактик многие при тщательном изучении обнаруживают такие же особенности, как и радиогалактики. В частности, он указал, что так называемые радиогалактики Сейферта также имеют очень широкие яркие полосы в спектре, говорящие о растекании газов со скоростями почти до 5000 *км/сек*. Позднее оказалось, что одна из таких галактик (NGC 1068), противопоставлявшихся радиогалактикам, является тоже радиогалактикой, что подтвердило внешнюю неразличимость обычных галактик от радио-

галактик. Известны также галактики с очень сильными, но узкими линиями излучения в спектре, которые, однако, не являются радиогалактиками. Их открыл мексиканский астроном Аро.

Теперь известно уже много радиоизлучающих галактик Сейферта. Вероятно, радиоизлучение у них возникает по временам, так же как и мощные выбросы и истечение газов из ядра. Они-то и являются причиной появления широких ярких полос в их спектре. Голубоватый цвет этих галактик обусловлен не звездным, а синхротронным свечением их маленьких, но очень ярких ядер. Такой же аномально яркий конец спектра имеют далекие галактики, во множестве обнаруженные Б. Е. Маркаряном. Некоторые из них принадлежат к типу галактик Сейферта.

Самым удивительным открытием последних лет было обнаружение Сандейджем и Шмидтом (США) необычных источников радиоизлучения. После уточнения координат мощных источников радиоизлучения некоторые из них пришлось отождествить с очень слабыми точечными объектами, не отличимыми от звезд даже в самые сильные телескопы. Сомнения в правильности их отождествления отпали, когда удалось получить и расшифровать спектры этих голубоватых «звездочек» — они явно оказались не звездами. Эти объекты назвали квазизвездными («подобными звездам») источниками радиоизлучения или, сокращенно (на английском языке), *квазарами*. В их спектрах, как правило, видны яркие линии, которые долго не могли отождествить. Не могли их отождествить долго потому, что это были линии, находящиеся нормально в далекой ультрафиолетовой области спектра, которая в спектрах небесных тел недоступна для наблюдений из-за ее поглощения в земной атмосфере. Чудовищное красное смещение в спектре квазаров сместило эти линии в наблюдаемую область спектра. Красное смещение квазаров в большинстве случаев оказалось гораздо больше, чем у самых далеких галактик, у которых его удалось измерить. Например, линия водорода серии Лаймана $L_\alpha$ с длиной волны 1216 Å, которую в спектре Солнца удалось сфотогра-

фировать только с высотных ракет, стала линией видимого спектра. Для таких объектов красное смещение выражают величиной $\Delta z = \Delta\lambda : \lambda$. Наибольшее измеренное сейчас у квазаров красное смещение превышает $\Delta z = 3{,}5$. По закону Хаббла таким смещениям соответствуют расстояния в миллиарды световых лет. Однако точный перевод их в расстояние требует знания модели устройства нашей Вселенной.

Это происходит потому, что в теоретически мыслимых моделях разного типа красное смещение на больших расстояниях может меняться не пропорционально расстоянию, как для меньших расстояний. То же надо сказать и о переводе величины $z$ в скорость по лучу зрения по формуле принципа Доплера.

Большинство квазаров обозначается номерами по третьему Кэмбриджскому каталогу источников радиоизлучения, обозначаемому сокращенно 3С. Ближайший и самый яркий квазар выглядит как звезда около $12^m{,}7$. Его красное смещение $z = 0{,}16$ и скорость 48 000 *км/сек*. Открытие квазаров происходит с потрясающей быстротой. К 1976 г. стало известно уже более 200 квазаров, самые слабые из которых имеют звездную величину почти $19^m$. У одного из самых далеких квазаров, 3С 9 ($z = 2{,}012$), лучевая скорость порядка 240 000 *км/сек*, т. е. очень близка к скорости света. Его расстояние (напоминаем, что это ориентировочно) порядка 9 млрд. световых лет (9 млрд. лет — это вдвое больше, чем возраст Земли). 3С 9 был одним из самых далеких объектов Вселенной. А сколько нового будет выяснено к тому времени, когда эта книга попадет вам в руки!

Если красное смещение в спектрах квазаров той же природы, что у галактик, то, значит расстояния до них громадны и, оказывается, что их оптическая светимость раз в 100 больше, чем у ярчайших галактик и радиогалактик! А их радиоизлучение почти такое же и не меньше, чем у радиогалактик, $10^{45}$—$10^{46}$ *эрг/сек*, отчего их и назвали квази- (т. е. «как бы») звездными радиогалактиками или звездными источниками радиоизлучения. Природа их излучения, как и у радиогалактик, должна быть синхротронной, т. е.

объясняться магнитно-тормозным излучением релятивистских электронов.

Быстро возросшая точность измерения угловых размеров источников радиоизлучения показала к 1976 г., что многие квазары имеют диаметры радиоизлучающей области в доли секунды дуги, часто менее $0'',1$. И оптически они не отличимы от звезд. (Оптически диаметры менее $0'',5$ невозможно измерить из-за неспокойствия земной атмосферы.) Следовательно, оптические размеры квазаров не превышают нескольких сотен световых лет. Однако, смущая нас, около 3С 273 и 3С 48 имеются крайне слабо светящиеся полоски длиной около 200 000 световых лет. Точнее говоря, оптически видимое звездное изображение у 3С 273 окружено в радиолучах слабым ореолом, а на расстоянии $19'',5$ от него видна слабая полоска, дающая в девять раз более сильное радиоизлучение. В 3С 48 «звездочка» $16^m$ окружена пятью туманностями на расстояниях до $12''$. Итак, вид квазаров различен, но ни один из них не похож на обычные галактики, а размеры в сравнении с последними крайне малы. Возможно, что и в оптическом излучении квазаров преобладает синхротронное излучение.

Новую неожиданность принесло открытие, что и видимый блеск, и радиоизлучение квазаров меняются очень заметно. Оказались меняющимися и профили ярких линий, принадлежащих горячим газам.

В 1965 г. Сандейдж в США сделал еще одно сенсационное открытие. Он обнаружил в направлении на полюс Галактики множество очень слабых голубых звездообразных объектов, по цвету сходных с квазарами. Он получил фотографии спектров шести из них. Один спектр принадлежал обычной, сравнительно близкой звезде, два спектра были без всяких линий, а в трех случаях обнаружились яркие линии с огромными красными смещениями, как у квазаров, хотя радиоизлучение от них пока не обнаружено.

Такие объекты Сандейдж назвал *«квазизвездными галактиками»* или, сокращенно, *квазагами* и из измерения числа голубых объектов заключил, что их должно быть в сотни раз больше, чем квазаров. (Этим объек-

там давали и другие названия, которыми лучше не пользоваться.) Последующие исследования показали, что большинство голубых объектов у полюса Галактики — это голубоватые звезды разных типов, принадлежащие к окраинам нашей Галактики, а квазагов в действительности раз в 10 меньше, но все же много больше в единице объема, чем квазаров. Цвикки считает, что квазаги Сандейджа тождественны тем его крайне компактным галактикам, которые голубоваты и имеют яркие линии в спектре. (Речь идет о тождестве типов, а не индивидуальных объектов.)

Полагают, что, может быть, квазары являются кратковременной фазой бурного развития квазагов, отчего мощное радиоизлучение наблюдается только у немногих из них, когда мы их и регистрируем как квазары. Во всяком случае, открытие квазаров и квазагов явилось самым волнующим открытием в астрономии не только за последнее время. Ведь это какие-то совершенно новые виды небесных светил с загадочными свойствами, быть может, подводящими нас к открытию величайших законов природы.

## ВЗРЫВЫ ОСТРОВНЫХ ВСЕЛЕННЫХ

Когда знакомишься с открытиями последних десятилетий в астрономии, можно перестать удивляться чему-либо. Взять хотя бы открытие гигантских взрывов в солнечной атмосфере. Но и они бледнеют перед взрывами на вспыхивающих звездах типа UV Кита. А что сказать о взрывах в новых звездах, наконец, о взрывах в сверхновых звездах? И вот мы подошли к рассказу о взрывах в островных вселенных!

У большой и красивой спиральной галактики в Большой Медведице, М 81, есть спутник. Это невзрачная продолговатая туманность М 82, имеющая как бы «рваные» края. Она не привлекала к себе внимания, хотя и отличается от обычных неправильных галактик тем, что содержит много пыли и в то же время не содержит горячих, голубых гигантов, хотя ее спектр класса A. М 82 и явилась прототипом неправильных галактик Ir II. Сейчас М 82 стала самой «модной» га-

лактикой, так как она впервые показала существование взрывов в масштабе галактик и помогла ближе подойти к пониманию двойных источников радиоизлучения и квазаров. У М 82 было обнаружено повышенное радиоизлучение, но знаменитостью ее сделали исследования Сандейджа и Линдса (1963 г.).

На снимках М 82, сделанных в лучах красной водородной линии $H_\alpha$, четко выступили длинные волокна водорода, идущие в обе стороны от центра. Они тянутся перпендикулярно к плоскости галактики, которая образует малый угол с лучом зрения и оттого выглядит продолговатой. Оказалось, что газ этих волокон имеет тем бо́льшую скорость, чем он дальше от центра. Это значит, что перед нами последствия гигантского взрыва, выбросившего из центра галактики полтора миллиона лет назад со скоростями до 1000 *км/сек* массу газа порядка $5^1/_2$ млн. солнечных масс. Это равно массе нескольких шаровых звездных скоплений. Кроме красных водородных волокон, видны и голубоватые волокна, дающие непрерывный спектр, и их свет поляризован. Очевидно, это потоки быстрых электронов, дающие синхротронное свечение и в видимых лучах и излучение в радиодиапазоне. Они же при столкновении с атомами водорода ионизуют его. Потоки газа к полюсам этой вращающейся галактики, а не в ее плоскости, обусловлены тем, что они встретили в ней сопротивление спокойных газов, имевшихся там уже ранее. Там газ перемешан с поглощающей свет пылью, которую вы видите. Кинетическая энергия разлетающегося газа в М 82 составляет около $2 \cdot 10^{55}$ *эрг*, а ее излучение с момента взрыва за истекшие полтора миллиона лет составляет почти $10^{56}$ *эрг*. Это в миллион раз больше, чем энергия, выделяемая при вспышке сверхновой звезды,— самого мощного взрыва, известного ранее. Сейчас выброшенный газ распространился на 10 000 световых лет от центра. Через 10 млн. лет он выйдет за границы галактики. Запасенная газом и электронами энергия израсходуется, плотность их упадет, они рассеются, и следов взрыва уже не будет видно. Взрыв и сопровождающее его радиоизлучение — явление скоротеч-

ное в сравнении с возрастом галактик, оцениваемым примерно в 10 млрд. лет.

Еще до исследования М 82 предполагали, что двойные источники радиоизлучения, между компонентами которых находится видимая галактика, образованы взрывами. В галактике происходит взрыв, выбрасывающий два огромных облака газа, начиненных релятивистскими электронами, как губка водой. По закону сохранения количества движения скорости облаков противоположны, а старый газ, находящийся в плоскости галактики, заставляет их двигаться к полюсам вращения. После выхода из галактики облаков, радиоизлучающих синхротронно, мы и видим два обширных радиоисточника по обе стороны от породившей их галактики. Явления, обнаруженные оптически в М 82, дали подтверждение этому объяснению. Только в радиогалактиках выход энергии еще грандиознее, чем в М 82. За период пребывания системы Лебедь А в стадии радиогалактики, оцениваемый в миллион лет, излучается $3 \cdot 10^{58}$ *эрг*. Это энергия синхротронного излучения; вместе с кинетической, вместе с потерями энергии при ее переходе в кинетическую и т. д. энергия взрыва в системе Лебедь А была, вероятно, $10^{60}$—$10^{61}$ *эрг*. Она равна энергии превращения в гелий водорода с массой в миллиард солнечных масс. Колоссальность этого почти мгновенного освобождения энергии и неизвестность физического механизма ее источника — все это и является главной загадкой происхождения и радиогалактик, и квазаров, энергии которых одинаковы.

На сходство спектров галактик Сейферта и некоторых радиогалактик автор этой книги указывал еще в 1956 г. Теперь на это сходство обращено еще большее внимание. Оказалось, что бурное истечение горячих газов из ядер галактик Сейферта имеет взрывное происхождение и напоминает то, что наблюдается во взрывающейся радиогалактике М 82. Выход энергии там тоже значителен, а ядра их звездообразны, т. е. очень малы. Более того, в центре двух галактик Сейферта обнаружены точечные источники радиоизлучения. Поэтому говорят, что в центре их

находится подобие маленького квазара. Квазары — это как бы мощные взорвавшиеся ядра галактик Сейферта, но без окружающей их звездной галактики.

Особенную трудность представляет собой объяснение квазаров. К трудности найти для них нужные чудовищные источники энергии, механизмы ее освобождения и превращения в энергию релятивистских электронов и энергию их суммарного движения присоединяется трудность объяснения их малых размеров. Дело в том, что они не могут быть звездными системами. Большое собрание звезд не может испытывать те быстрые колебания суммарного блеска и радиоизлучения, какие наблюдаются. Это должно быть одно огромное тело. Вначале высказывалась гипотеза, что в большом облаке газа с массой около $10^8$ масс Солнца происходит под действием тяготения катастрофическое сжатие, так называемый коллапс. Образуется сверхзвезда. Сжатие освобождает колоссальное количество гравитационной энергии. Но как она может перейти в энергию релятивистских электронов, неизвестно. Вначале квазары согласно этой гипотезе поторопились назвать сверхзвездами. Однако эта гипотеза не получила широкого признания, и для объяснения квазаров было выдвинуто около десятка разных гипотез, которые сейчас обсуждаются. Среди них есть группа гипотез, пытающихся рассматривать квазары как более близкие к нам объекты, а красное смещение в их спектрах объяснять иначе, чем эффектом их дальности от нас. Едва ли эти попытки будут иметь успех. Мы не имеем возможности перечислять, а тем более разбирать многочисленные гипотезы о квазарах, из которых ни одна не получила признания. Быстрое накопление фактических данных ускорит нахождение правильного объяснения их.

Заметим, что большинство ученых придерживается убеждения, что звезды и галактики возникают путем конденсации разреженного газа. Говоря о взрывах в галактиках, обычно не высказывают мнения о том, что же, собственно говоря, взрывается.

Более последовательную точку зрения занимает В. А. Амбарцумян, развивающий гипотезу, что вообще

и звезды, и газ возникают при взрывах из сверхплотного вещества. Он считает, что в ядрах некоторых галактик существует занимающая малый объем огромная масса сверхплотного вещества, способного взрывоподобно делиться и образовывать пáры и группы разбегающихся галактик. Мелкие выбросы образуют галактики-спутники. Радиогалактики, а может быть, и квазары, он рассматривает как галактики, ядра которых находятся в процессе катастрофического деления. Мы уже говорили, что найдено немало подтверждений тому, что многие группы галактик и даже скопления их распадаются, хотя неизвестно, откуда может взяться нужная для этого колоссальная энергия. Но этот же вопрос остается в силе относительно позднее открытых радиогалактик и квазаров. Как говорится: «невероятно, но факт». Правда, пока еще в ядрах галактик не обнаружено очень больших и крайне плотных масс, но теперь эта возможность представляется менее невероятной, чем казалось раньше. В связи с этими своими представлениями Амбарцумян первый обратил всеобщее внимание на активность ядер галактик и на их большую эволюционную роль. Теперь тезис об огромной активности ядер галактик приобрел общее признание. Еще в самом начале Амбарцумян обращал внимание на выброс из центральной части радиогалактики М 87 (аналогичные выбросы наблюдаются и в некоторых других галактиках). Излучение этого выброса оказалось синхротронным в оптической части спектра и связанным с радиоизлучением. Ядра галактик, их радиоизлучение и другие свойства подробно изучают в Бюраканской обсерватории, руководимой Амбарцумяном, Товмасян, Маркарян, Хачикян и другие армянские ученые.

## ЕСТЬ ЛИ ГРАНИЦА МИРА И ЧТО ЗА НЕЙ?

Еще задолго до того, как были установлены огромные расстояния до галактик, человечество постоянно задавалось вопросом: «есть ли граница мира и если есть, то что за ней?». Учение о мире как целом сос-

тавляет предмет космологии. По этому поводу вправе высказываться и философия, и математика, в которой трактуется понятие бесконечности, и астрономия, изучающая конкретные небесные тела. Вопрос этот оказывается очень сложным и многогранным. Философия диалектического материализма утверждает, что материя и ее движение вечны, хотя и меняют форму. В бесконечном многообразии явлений в природе, явлений всегда материальных, теперь едва ли сомневается кто-либо из естествоиспытателей, хотя защитники идеализма и пытаются всякое новое, еще не понятное явление природы истолковать идеалистически. В этом они терпят, однако, неудачу с каждым продвижением науки вперед. Сейчас, по-видимому, мало кто из ученых допускает, чтобы Вселенная имела границу — «стенку», в которую можно упереться. Однако вопрос о том, конечна ли Вселенная и каковы свойства пространства, в котором мы живем, можно попытаться проверить путем наблюдений в Космосе.

В школе изучают евклидово пространство, в котором две прямые никогда не пересекаются. Но наш великий математик Лобачевский показал, что мыслимо пространство с другими свойствами. Позднее Эйнштейн доказал в своей теории относительности, что реальное физическое, а не абстрактное пространство, заполненное материей, может иметь кривизну, обусловленную существованием материи. Советский ученый А. А. Фридман, а за ним другие ученые математически разработали модели вселенных, опирающихся на теорию относительности. Таких моделей создано немало и большинство их — это модели безграничной, но конечной Вселенной. Сочетание безграничности и в то же время конечности поясняют обычно на грубом примере шара. У него нет границ для двухмерного существа, могущего перемещаться только по поверхности шара. В то же время размер поверхности шара конечен. Размеры шара могут увеличиваться, уменьшаться или пульсировать, оставаясь конечными.

Свойства конечной Вселенной теоретически зависят от средней плотности вещества в ней, от степени

однородности этой плотности от места к месту. Обращаясь к наблюдениям, мы можем изучать пока только часть Метагалактики, которую часто и неосновательно отождествляют со Вселенной в целом.

Мы узнали, что галактики удаляются друг от друга, судя по красному смещению в их спектрах, и тем быстрее, чем они друг от друга дальше. Мы имеем некоторые сведения о массах галактик и об их распределении в пространстве. Очевидно, Метагалактика расширяется, но какая модель Вселенной больше всего на это похожа? Оказывается, что это можно выяснить, если установить связь величины красного смещения с расстоянием до галактики, если его определить другим независимым путем (а не по величине того же красного смещения). Для той же цели может служить и распределение очень далеких галактик (или источников радиоизлучения) в пространстве. Расстояние до скоплений галактик, как мы говорили, можно определить по видимому блеску ярчайших галактик в них. Результаты наблюдений сравниваются с выводами теории для разных моделей Вселенной. Современное наше проникновение в глубину Метагалактики и точность наших данных еще недостаточны для уверенного, окончательного вывода. Все же большинство ученых склоняется сейчас к выводу, что Метагалактика конечна и расширяется с замедлением, которое создает взаимное тяготение. Вероятно, существует пульсация если не Вселенной, то Метагалактики, и когда-либо расширение сменится сжатием.

Из факта расширения Метагалактики можно сделать вывод, что несколько миллиардов лет назад ее объем был так мал, что галактики не могли существовать как отдельные объекты. Это, конечно, не означает, что тогда и было «сотворение мира», как хотят заключить идеалисты. Просто тогда вещество существовало в иной форме. Возможности превращения вещества безграничны и оно не всегда было и не всегда будет существовать в тех видах, в каких мы наблюдаем его вокруг себя сейчас.

Для более обстоятельного знакомства с состоянием космологии рекомендуем читателям статьи

А. Л. Зельманова «Метагалактика и Вселенная» в сборнике «Наука и человечество», 1962, изд-во «Знание» и А. В. Засова «Космология и наблюдения» в № 4 журнала «Земля и Вселенная» за 1965 г.

## ВОЗМОЖНА ЛИ СВЯЗЬ С ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ ДРУГИХ ПЛАНЕТ?

«Последние известия сигналами с Марса! Радиоприемники Маркони принимают телеграммы с Марса на Землю!». Так в конце прошлого века писали зарубежные газеты. В ту пору был поднят большой шум по поводу наблюдения на Марсе каналов и их предполагаемого искусственного происхождения. И на эту благоприятную почву упали известия о том, что в Южной Америке один из инженеров фирмы Маркони слышал по радио трески. Но они оказались атмосферными помехами, известными теперь каждому радиолюбителю. Их создавали электрические разряды в земной атмосфере. Позднее тоже никаких радиосигналов искусственного внеземного происхождения так и не было обнаружено. Известный французский популяризатор Фламмарион шутил, что у марсиан давно должна была бы пропасть охота к попыткам наладить радиосвязь с Землей. В самом деле, еще миллионы лет назад предполагаемые марсиане могли посылать сигналы, на которые ни бронтозавры, ни птеродактили не реагировали ответом. Так же необщительны оказались и люди каменного века, и египтяне Рамзеса, строившие пирамиды. Тимур, Аттила и другие завоеватели были «не разговорчивее», чем «допотопные» жители нашей планеты.

А вот всего лишь несколько лет назад у нас некоторыми писателями-фантастами была раздута сенсация, будто бы некоторые религиозные легенды, рисунки дикарей на скалах и необъясненные постройки древности свидетельствуют... о посещении Земли «гостями из Космоса» — космонавтами других миров.

В принципе посещения Земли внеземными космонавтами возможны. Но то, что объявляется следами таких посещений, граничит с анекдотом. Так, напри-

мер, рассказом о космонавтах называют легенды о вознесении святых на небо. Необъяснимая пока древняя постройка какого-либо грубого и большого каменного сооружения также этого не доказывает. Как могли, например полудикие люди на острове Пасхи установить гигантских каменных идолов, долго являлось полной загадкой. Но потомки этих людей показали Туру Хейердалу как это делалось без всякой техники, а не только без вмешательства космонавтов. Эта выдумка, как и фантазия о том, что Тунгусский метеорит был не метеоритом или кометой, а атомным космическим кораблем с Венеры или с Марса, лопается уже потому, что наука установила невозможность и отсутствие развитых цивилизаций на какой бы то ни было планете Солнечной системы. Такая цивилизация, которая могла бы послать к Солнечной системе межзвездные корабли, может быть только на тех планетах, которые обращаются вокруг далеких звезд. Но даже ближайшая звезда отстоит от нас на четыре световых года, а, как мы увидим дальше, можно ожидать существование ближайших к нам технически развитой цивилизации на расстоянии лишь в сотни световых лет. О полете к ним на кораблях с современными, даже атомными, видами топлива не может быть и речи. Мечтают о так называемых фотонных ракетах, которые летали бы со скоростями, близкими к скорости света. Но и им на путешествие туда и обратно понадобятся сотни лет. Правда, по теории относительности Эйнштейна время (в понимании механики!) может течь медленнее при ускоренном движении. Так, по расчетам, если корабль летит равномерно-ускоренно, с ускорением 10 *м/сек*$^2$ до половины пути, а затем тормозится по тому же закону, то время по часам на корабле идет так медленно, что за полет к очень далеким звездам оно составит лишь несколько лет.

Возможность создания таких кораблей весьма сомнительна. Кроме того, столкновение корабля на такой скорости с межзвездной средой приведет к его уничтожению. Нам кажется, что эти расчеты, может быть, и справедливые в рамках механики, неприменимы к живым и мыслящим существам.

Пусть даже можно было бы создать такие корабли, преодолеть все трудности и опасности полета и выжить при этом. Но за время путешествия на Земле-то пройдут сотни или тысячи лет. Земное общество за это время так разовьется, что информация, доставленная космонавтом на Землю, будет столь же малоценной, какой для нас было бы описание ханом Батыем того, что он увидел бы, пролетая мимо других звезд.

Этого мало. Вспомните, сколько запусков пришлось осуществить, прежде чем удалось посадить на Луну первую автоматическую станцию. Еще большего труда стоила высадка на Луну космонавтов. Каждый запуск ракеты с межпланетной станцией уже через несколько дней позволяет узнать их недостатки и учесть их при следующем запуске. В случае же полетов к звездам результатов каждого запуска нельзя будет узнать раньше, чем через сотни лет (а то и вообще никогда!). Стоит ли предпринимать такие затеи, да еще с учетом колоссальных энергетических и других затрат на каждый запуск к звездам?

Однако, отказываясь от мысли лично посещать другие цивилизованные общества, нельзя ли все же установить с ними контакт путем обмена радиосигналами? Каковы перспективы этого, мы узнаем, если попытаемся сделать некоторые расчеты.

Первый вопрос: какие расстояния в среднем можно ожидать между цивилизациями, способными и желающими осуществить радиосвязь друг с другом?

В нашей Галактике существует около $10^{11}$ звезд — надежно установленное число $N$, но дальше пойдут догадки. Число цивилизаций в ней $n$, способных осуществлять радиосвязь, равно

$$n = N \times P \times E \times B \times I \times T.$$

Здесь $P$ — доля звезд, имеющих планеты, $E$ — доля планет, пригодных для возникновения на них жизни, $B$ — вероятность того, что при этих условиях жизнь действительно возникнет, $I$ — вероятность того, что развитие жизни приведет к возникновению достаточно высокой цивилизации, а $T$ — продолжительность ее существования. Ведь нас интересуют цивилизации,

существующие только одновременно с нашей, а не прошлые и не будущие.

Какая доля $P$ звезд имеет планеты, мы не знаем. Как мы уже рассказывали, у некоторых близких к нам звезд обнаружены невидимые спутники малой массы. Говорилось также о возможности того, что в действительности наблюдаемый эффект производит не один спутник, а совокупность тел еще меньшей массы, которая уже близка к массе больших планет типа Юпитера. Итак, существование планетных систем помимо нашей несомненно, но все ли звезды их имеют или какие именно имеют их — вопрос спорный. Будем считать оптимистически, что планеты есть у всех звезд, т. е. что $P=1$.

Какая доля $E$ планет пригодна для возникновения на них жизни? Об этом судить трудно, зная только планеты нашей Солнечной системы и то недостаточно. Оценки разных ученых колеблются в огромных пределах: от одной миллионной до одной двадцатой. Отсюда в нашей Галактике число планет, пригодных по своим условиям для возникновения жизни, оценивается от $10^5$ до $10^{10}$. Допустим, кроме того, что при наличии этих условий жизнь на таких планетах непременно возникает, т. е. положим $B=1$. Это опять-таки завышает ожидаемое число обитаемых планет.

А на какой доле $I$ обитаемых планет развитие жизни приводит к возникновению разумных существ, да еще достигших такого развития техники и энергетики, что им доступно осуществление радиосвязи с другими мирами? Совершенно не известно еще то, какая доля таких цивилизаций захочет тратить колоссальные запасы энергии очень длительное время, сотни лет, ожидая ответ с других планет на посланный запрос, причем вероятнее всего, что никакого ответа вообще не последует. Так может произойти либо потому, что вопрос адресатом не будет понят, либо потому, что отправлять его с таким запозданием не будет смысла. Надо иметь в виду, что затруднением может явиться не только отсутствие общего языка в прямом смысле, как, например, между двумя земными народами, а и в том смысле, что уровень развития двух

цивилизаций может быть слишком различен. Ведь могут же быть цивилизации, знания, понятия и психология которых будут отличаться от людских даже больше, чем людские отличаются от муравьиных. Лишь в самом благоприятном случае можно принять, что $I=1$ и что не требуется вводить в формулу еще другие множители, меньшие единицы.

Наконец, крайне неопределенна оценка величины $T$ — продолжительности существования цивилизаций, способных и желающих посылать сигналы в бездну Космоса. Для нас интересны не все такие цивилизации, возникшие в Космосе в прошлом, или будущие, а только современные с нами. Жизнь развивается на Земле около полумиллиона лет, а к мысли о принципиальной возможности связи с другими цивилизациями человечество пришло только несколько лет назад. В течение полумиллиона лет взывать к человечеству из Космоса было бесполезно. Да и завтра, приняв неожиданно искусственные радиосигналы, мы бы не могли на них ответить что-либо путное. Наша сегодняшняя цивилизация (с ее радиотехникой и космонавтикой) существует совсем немного лет. Сколько времени она просуществует еще? Кроме всяких опасностей для существования человечества в течение многих миллионов лет, недавно возникла новая опасность, порожденная тем, что развитие науки и техники опередило развитие психологии. Это опасность самоуничтожения. На всех ли мирах с цивилизацией до самоуничтожения дело не дойдет? На это ответить невозможно. (Заметим, что в результате посещения других планет может произойти занос смертоносных бактерий или вирусов, которые погубят цивилизацию раньше, чем будут найдены средства борьбы с ними.) Если развитые цивилизации самоуничтожаются, тогда $n=0$, и больше говорить не о чем. Оптимистические оценки дают для времени жизни цивилизаций от $10^2$ до $10^9$ лет, т. е. от ста лет до времени существования Земли с момента ее возникновения. Этим числам соответствует тогда число современных цивилизаций в нашей галактике от ста до миллиарда. Итак, даже при принятии самых оптимистических оценок, преувели-

чивающих заведомо эти окончательные числа, они остаются неуверенными (крайние оценки различаются в $10^7$ раз!). Но в этих рассуждениях мы показали, как можно научно подходить к данной проблеме.

Отправляясь от хорошо известного нам среднего расстояния между звездами (семь световых лет), можно подсчитать среднее расстояние $D$ между цивилизациями в зависимости от принятого числа современных цивилизаций $d$. Получаем следующее:

| $d$ | $D$, световых лет | $d$ | $D$, световых лет |
|---|---|---|---|
| $10^2$ | 7 000 | $10^6$ | 320 |
| $10^4$ | 1 500 | $10^9$ | 32 |

Итак, нижний предел среднего расстояния между цивилизациями составляет сотни или, скорее, тысячи световых лет. Столько времени надо, чтобы световой или радиосигнал пробежал это расстояние.

На таких расстояниях можно надеяться на «связь» только путем направленных радиопередачи и радиоприема. Прямые путешествия, как мы уже говорили, вероятно, утопичны при таких расстояниях. Лишена смысла связь и в тех случаях, когда (как в первой строке таблицы) длительность обмена информаций превышает продолжительность существования хотя бы одной цивилизации. В общем перспективы на возможность или смысл двусторонней связи малы. Остается односторонняя связь — посылка информации без ответа на нее или только прием.

Человечеству пока можно ставить вопрос только о приеме радиоинформации от других цивилизаций, но не о посылке ее другим мирам.

Могут ли современные радиотелескопы принять сигналы ближайших к нам цивилизаций? И как это сделать? Как их расшифровать?

При условии направления радиосигналов узким пучком современными средствами можно обнаружить передатчик мощностью 100 киловатт ($10^{11}$ *эрг/сек*) с полосой излучения 10 килогерц при диаметре пере-

дающей антенны в 100 *м*, если передатчик находится на расстоянии таком, какое отделяет нас от соседних звезд. Но на какой волне надо ожидать сигналов? Едва ли передачу будут вести во всех длинах волн сразу, иначе их трудно будет отличить от естественного радиоизлучения светил. Предполагалось, что цивилизация изберет длину волны 21 *см*, так как на этой волне излучает холодный водород. Водород широко распространен во Вселенной и должен изучаться всеми цивилизациями, достаточно развитыми для радиосвязи с другими мирами.

В 1960 г. в США 27-метровым радиотелескопом на этой волне пробовали «прослушивать» Космос до расстояния в 16 световых лет. Ближе этого расстояния существуют три звезды, около которых можно было бы ожидать наличие обитаемых планет. За несколько месяцев «прослушивания» этих звезд ничего не было обнаружено. Однако чувствительность телескопа была недостаточна — успеха скорее можно ожидать, достигнув «радиуса слышимости» в сотни световых лет. С другой стороны, вблизи волны 21 *см* слишком много космического радиоизлучения — помех, могущих заглушить искусственные сигналы. Цивилизации могут избрать другую длину волны, в том числе даже не пропускаемую земной атмосферой, а радиотелескоп не может сразу принимать радиоэнергию в большом диапазоне длин волн. Это тоже усложняет задачу. Невозможно также подолгу наблюдать каждую из 10 млн. звезд, находящихся ближе 1000 световых лет, так как нельзя заранее установить, возле какой из них существует сигнализирующая цивилизация. По мнению академика В. А. Котельникова, если из миллиона планетных систем шлют сигналы только с одной планеты, с уровнем техники, близким к нашей, то обнаружить ее возможно. Для этого нужно иметь многоканальный радиоприемник и наблюдать по временам только те звезды, которые представляются наиболее вероятными для развития возле них цивилизации. Если таких цивилизаций только одна на $10^7$ звезд, то обнаружить ее сигналы будет гораздо труднее.

Чтобы обеспечить заметные еще для нас сейчас сигналы с расстояний до 1000 световых лет, нужен передатчик мощностью в миллионы или миллиарды киловатт. Считают, что создание его было бы в принципе возможным сейчас и на Земле. Он стоил бы 200 млрд. долларов.

Оказывается, что дальность связи зависит еще от продолжительности посылки сигнала и растет вместе с нею, а с увеличением полосы частот при передаче (и затруднением поэтому ее приема) растет и быстрота передачи сигналов. Возможно, что пока опыт и знания одной цивилизации будут приняты и расшифрованы другой цивилизацией, первая из них уже перестанет существовать. Но эти данные помогут развитию цивилизации, принявшей информацию.

На каком «языке» может вестись передача и как ее расшифровать — никто не знает, но этот вопрос обсуждается. Не обсуждается, однако, вопрос о мере возможного сходства развития представлений и возможного развития психологий сообщающихся взаимно цивилизаций. Известно, что даже на Земле населения разных стран и даже разные ученые одной специальности не всегда достигают должного «взаимопонимания». Ну, а если уровень понятий и психологии будет так же различаться, как, скажем, человека и обезьяны, или птиц и рыб? Смогут ли они понять взаимную информацию?

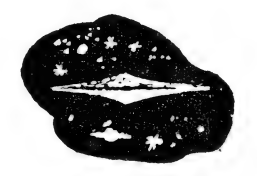
Для того чтобы убедиться в искусственном происхождении принимаемых сигналов, надо, чтобы они были как-то закономерны, прерывисты, поляризованы и явно исходили из очень малого объема.

Один из наших молодых ученых высказал на наш взгляд фантастическое предположение, что существуют сверхцивилизации, потребляющие в миллионы миллиардов раз больше энергии, чем земная цивилизация, т. е. около $10^{33}$ *эрг/сек*. Для этого они должны полностью использовать энергию излучения своих звезд, например, окружив их искусственной сферой, задерживающей всю их энергию. (В. Д. Давыдов показал, что такая сфера была бы, по-видимому, неустойчива и едва ли возможна поэтому принципиаль-

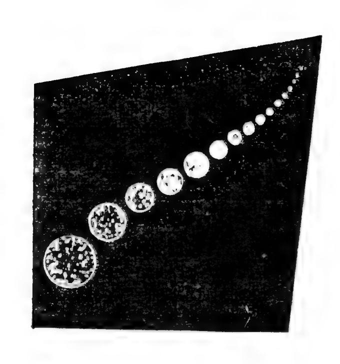
но.) Такая сверхцивилизация могла бы посылать сигналы в широкой полосе частот ($10^6$—$10^9$ *гц*) и даже в самые далекие из известных сейчас звездных систем — галактик. Упомянутый выше автор фантазирует даже о сверхсверхцивилизациях с энергопотреблением $10^{45}$ *эрг/сек*, овладевших энергией целой галактики (и ничего не оставивших другим цивилизациям в миллиардах звезд галактик, также пожелавших забрать себе всю энергию мира!).

Когда в 1965 г. была заподозрена периодичность интенсивности радиоизлучения одного объекта, казавшегося очень слабой звездочкой, то автор названной гипотезы поспешил оповестить мир о приеме на Земле сигналов другой цивилизации. Исследование этого объекта вскоре показало, что он является одним из квазаров, т. е. одной из квазизвездных галактик, характерных крайне мощным радиоизлучением и удаленных от нас на миллиарды световых лет. Искусственные сигналы с такого расстояния могла бы посылать только фантастическая сверхцивилизация *). Мы уже знаем, что многие из таких объектов меняют силу своего радиоизлучения и излучения света по естественным причинам. Хотя в существование сверхцивилизаций трудно поверить, попытки обнаружить правдоподобные сигналы какой-либо более близкой к нам цивилизации следует все же продолжать — мало ли что может быть на свете...

*) Подробнее затронутые здесь проблемы освещены в книге И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум», изд. 4-е, «Наука», 1976, и в книге С. Доула «Планеты для людей», «Наука», 1974.



ГЛАВА 11



# РОЖДЕНИЕ, ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ ЗВЕЗД

## СКОЛЬКО ЛЕТ ЗВЕЗДАМ И МЛЕЧНОМУ ПУТИ?

Мы не удовлетворяемся, конечно, теми легендами, которые указывают год сотворения мира. По легенде иудейских жрецов мир был создан 5756 лет назад (если считать, что сейчас 1976 г.). Однако византийский церковный счет лет, которого придерживались и в России до Петра I, этот же год считает 7482 годом от сотворения мира. Кому же из них верить? Не приходится верить никому из них, потому что окаменевшие остатки растений и даже животных лежат в земле многие миллионы лет.

Расставшись с религиозными легендами, мы пытаемся научным путем восстановить историю нашей планеты и других светил, научно определить их возраст, хотя дату их рождения никто не запротоколировал. Да, кстати сказать, рождение миров было таким длительным процессом, что он растянулся не на часы и не на годы, а на миллионы лет, и «точный» возраст мировых тел — это вообще понятие, лишенное смысла.

Метрикой земных горных пород, как мы уже говорили, в известной мере являются продукты распада радиоактивных элементов, которые в них содержатся. Так было установлено, что возраст самых древних горных пород в земной коре составляет около 3—$3^1/_2$ миллиардов лет.

Имея дело с такими большими периодами, можно было бы взять за единицу измерения времени не пе-

риод обращения Земли около Солнца, а период обращения Солнечной системы около центра нашей звездной системы — Галактики. Он составляет около 270 миллионов земных лет. Если эту единицу и для измерения времени назвать космическим годом, то возраст земной коры будет равен (по порядку величины) 20 космическим годам.

Как же определить возраст звезд и Солнца, которое мы привыкли мыслить «отцом» планетной семьи и старшим по возрасту? Метод, использующий радиоактивные элементы и успешно примененный к Земле, ни к Солнцу, ни к звездам неприменим. Пробу их вещества мы взять не можем, а если бы и могли, то она бы нам ничего не сказала, так как эти тела состоят из раскаленных и все время перемешивающихся газов. Ясно, что оценить возраст Солнца и звезд с уверенностью очень трудно, но не безнадежно. За последнее время придуманы разные способы оценки, довольно хорошо согласующиеся друг с другом, а когда показания независимых друг от друга свидетелей, опрошенных по отдельности, сходятся, то приходится признать их за истину.

Возраст звезд и самой нашей звездной системы, как бы они ни стремились его скрыть, нам выдают строение звездной системы и изучение движений звезд.

Дело в том, что наша звездная система имеет определенную и довольно сложную структуру, а не представляется хаотическим скопищем звезд. Это — не толпа беспорядочно снующих людей, а походный боевой строй армейского корпуса, где проявляются сложная структура и соподчинение. Как место выбывших солдат, смыкая ряды, занимают здоровые, так, может быть, и звезды, выбывающие из какого-либо облака в Млечном Пути, заменяются другими, так что общая картина не меняется в течение десятков космических лет. Такое положение мы называем «динамическим равновесием системы». Это равновесие может быть нарушено.

Расстояния между звездами так велики в сравнении с их размерами, что модель звездной системы мы

получим, если вместо звезд предоставим нескольким пылинкам носиться в просторном зале московского Большого театра. Каковы их шансы столкнуться?

Зная расстояния между звездами, их скорости и размеры, можно подсчитать, что столкновение Солнца с какой-либо звездой может случиться однажды за 200 000 000 млрд. лет, или однажды в миллиард космических лет!

В нашей звездной системе, насчитывающей до двухсот миллиардов звезд, одно столкновение каких-либо двух звезд происходит в среднем лишь однажды за миллион лет. Быть может, проще поэтому сказать, что столкновений звезд, которые привели бы, конечно, к гибели их планетных систем, практически совсем не происходит.

Даже близкие встречи звезд друг с другом, при которых их путь под действием взаимного тяготения изменился бы очень сильно, происходят исключительно редко. Далекие же прохождения звезд друг около друга, на расстояниях порядка одного светового года (т. е. меньших, чем средние расстояния между звездами, которые, как уже упоминалось, порядка 7 *парсек*) происходят достаточно часто, меняя направление их пути на угол порядка одной минуты дуги. Такие-то встречи и производят медленное, но неуклонное разрушение того порядка в звездной системе, который установился при ее рождении. Говорят, «и капля долбит камень». Такого же рода воздействие имеем мы и тут. За один космический год сумма воздействий звезд, проходящих от нашего Солнца на расстояниях от десяти до пятнадцати световых лет, будет так же велика, как если бы за это время оно однажды встретилось с другой звездой на расстоянии всего лишь в три-четыре раза большем, чем радиус орбиты Плутона (40 астрономических единиц).

Беспорядочные движения звезд в Галактике обнаруживают любопытные особенности, связанные с их физическими характеристиками. Массивные звезды с соответствующей солидностью движутся туда и

сюда, в то же время обращаясь вокруг центра Галактики. Красные же карлики, холодные звезды с наименьшей массой, как шустрые мальчишки в толпе солидных людей, быстро шныряют по Галактике во всех направлениях, как бы нарушая общий чинный порядок, но тоже участвуя в общем вращении.

Встречи и взаимные притяжения звезд стремятся перераспределить энергию движения равномерно, так, чтобы энергия каждой из них (равная произведению ее массы на квадрат скорости) была одинакова, и все массивные звезды двигались бы медленнее, чем легкие. В хаотическом скопище газовых молекул так и происходит, как это хорошо известно физикам, только там молекулы обмениваются скоростями при прямых столкновениях. Такое равномерное распределение энергии между звездами (или молекулами, безразлично) может наступить только по истечении достаточно долгого промежутка времени.

Очевидно, Галактика вращается либо недостаточно долго для того, чтобы подобное перераспределение энергии успело в ней наступить, либо звезды имеют разный возраст, а некоторые из них образуются и сейчас. Если бы Галактика существовала в том виде, как мы ее видим теперь, и вращалась дольше десяти тысяч космических лет, разные звезды не обнаруживали бы в такой большой степени свои индивидуальные особенности.

Очевидно, что, действуя в течение космических веков, прохождения звезд друг около друга должны рассеивать звездные скопления. Среди таких звездных скоплений есть довольно рассеянные, не особенно плотные, как, например, Плеяды и Гиады. В Гиады входит около полутораста звезд, рассеянных до расстояния в 15 световых лет от центра скопления, который отстоит от нас на 130 световых лет.

Анализ В. А. Амбарцумяна показывает, что скопление Гиад предохранено от рассеивания по крайней мере на десяток космических лет, после чего притяжение ядра Галактики станет заметно угрожать его целости, а примерно через 50 космических лет группа

Гиад перестанет существовать — ее члены рассеются в Галактике.

Но Гиады — уже и сейчас весьма рассеянное скопление. Другие его собратья, Плеяды и Ясли, имеют среднюю плотность, в десять раз бо́льшую. Их устойчивость больше, но и им не противостоять притяжению ядра Галактики дольше сотни космических лет, и через этот промежуток времени в Галактике не должно остаться ни одного рассеянного звездного скопления. В наше время процесс их разрушения идет так быстро, что, возникни подобные скопления более полусотни космических лет назад, их бы уже не было. Значит, эти характерные члены нашей звездной системы существуют не более 50 космических лет, но возраст самой Галактики и других составляющих ее звезд, в том числе Солнца, может быть больше. Солнце, многие звезды и наша звездная система в целом могут быть всего лишь в несколько раз старше земной коры, насчитывающей возраст в 20 космических лет. Наряду с этим горячие гигантские звезды и некоторые другие должны быть молодыми,— не старше 1 или 10 миллионов лет, а некоторые из них образуются и сейчас.

Источники энергии звезд, установленные нами, могут поддержать их излучение в течение такого периода времени. Мы не знаем такого источника энергии, который мог бы поддерживать их излучение в течение во много раз большего периода. Меньший срок существования Солнца тоже недопустим уже по тем свидетельствам его действия, которые мы находим на Земле.

Мы видим, что возраст небесных светил почтенен, и история нашей науки — это такой краткий миг в истории жизни звезды, что нам невозможно заметить никакого изменения звезд. За это время на их челе не успевает отложиться ни одной мельчайшей морщинки. Это очень мешает нам представить себе, как рождаются, растут и старятся звезды, каков их жизненный путь. То, что светлое Солнце не может нам рассказать о своем «темном» прошлом (темном для нас), не дает нам возможности рассказать с уверен-

ностью и о его будущем. Для подобных попыток предсказания будущего нашего Солнца первостепенное значение имеет знание источников звездной энергии. Они были открыты в тридцатых годах, и к ним-то теперь и обратится наш рассказ, тогда как еще недавно поэт мог сказать об этом лишь следующее:

«В глубине бездонной,
Полны чудных сил,
Идут миллионы
Вековых светил...»

(И. Никитин)

## ЧТО ПИТАЕТ ЗВЕЗДЫ?

«Мы едим, чтобы жить»,— говорит пословица. Усвоение пищи дает живым существам энергию, которую они и расходуют в движении. Всякая машина для работы требует, чтобы ее чем-либо питали в процессе работы. Станки потребляют электроэнергию, электростанции потребляют уголь — окаменелые растения далекого прошлого; эти растения потребляли солнечное тепло и свет, но что же потребляет само Солнце? За счет чего звезды расходуют такие чудовищные количества энергии? Она должна пополняться, ибо в природе «вечного двигателя» нет и быть не может, чего, к сожалению, не знают до сих пор некоторые горе-изобретатели.

Если бы Солнце состояло из лучшего донецкого угля и горело, то, даже, получай оно для этого в достаточном количестве кислород, оно сгорело бы целиком примерно за 1500 лет, да и кислорода для этого ему взять неоткуда.

Некогда существовало мнение, что энергия Солнца поддерживается падением на него метеоритов. Их кинетическая энергия превращается при падении в теплоту, поддерживающую излучение Солнца. Метеоритов должно было бы сыпаться на Солнце невероятно много, и они так быстро увеличивали бы массу Солнца, что это было бы заметно. Такой способ питания помог бы Солнцу не больше, чем нам, если бы мы вздумали вскипятить бочку воды, ставя на ее крышку горячие утюги.

Энергия должна в Солнце поступать изнутри к поверхности, как это показывают нам теперь все данные о природе Солнца.

С течением времени выдвигался еще ряд гипотез, отвергнутых впоследствии. Мы их перечислим вкратце, главным образом для того, чтобы кому-нибудь не пришло в голову взять на себя напрасный труд повторять ошибки прошлого.

Энергия Солнца могла бы пополняться за счет его сжатия, уменьшения в размерах. При этом энергия тяготения к центру переходила бы в энергию тепловую. Однако вычислено, что если бы даже Солнце было некогда бесконечно большим, то и в этом случае его сжатия до современного размера хватило бы на поддержание его энергии всего лишь в течение 20 миллионов лет. Между тем доказано, что земная кора существует и освещается Солнцем гораздо дольше. Сжатие может иметь и наверное имеет место, но не оно служит главным источником солнечной энергии.

Не состоят ли недра звезд из радиоактивных элементов таких, как торий, уран и радий? Распадаясь, они выделяют теплоту. Если бы Солнце целиком состояло из радия (а надо сказать, что на Земле его всего-навсего добыто только несколько десятков граммов), оно излучало бы больше энергии, чем действительное Солнце. Но при большой начальной расточительности, неизбежной при радиоактивном распаде, интенсивность его излучения спадала бы слишком быстро. Радий не мог бы поддерживать излучения Солнца так долго, как это необходимо. Допустить же существование тяжелых, «сверхрадиоактивных» элементов (не известных на Земле), да еще сконцентрированных в недрах Солнца, современная физика и теория внутреннего строения звезд не позволяют.

На наше счастье, физика атомного ядра, возникшая в двадцатых годах, указала нам источник звездной энергии, хорошо согласующийся с данными астрофизики и, в частности, с выводом о том, что бо́льшую часть массы звезд составляет водород.

Слышали ли вы о том, что водород горит? Да, водород в звездах «сгорает» и дает им нужное питание, но

это совсем не то горение, т. е. не соединение с кислородом, которое известно из простого опыта. Горение— это химический процесс, т. е. перетасовка атомов между молекулами. Но энергии химических реакций недостаточно для поддержания солнечного тепла.

С другой стороны, при чудовищном жаре в недрах звезд невозможно существование ни молекул, ни атомов — они там распадаются. Там возможны только преобразования сложных систем, называемых ядрами атомов, когда-то считавшихся неделимыми. При температурах в миллионы градусов происходит распад не только атомов, но и их ядер и перетасовка продуктов распада, отчего образуются ядра новых элементов. Такие перетасовки называются ядерными реакциями.

Теория ядерных реакций привела к выводу, что источником энергии в большинстве звезд, в том числе и в Солнце, является непрерывное образование атомов гелия из атомов водорода.

Известно, что атом гелия имеет массу приблизительно в четыре раза большую, чем атом водорода. Однако мы не получим атома гелия, сложив попросту четыре атома водорода. Прежде чем материал четырех водородных атомов создаст атом гелия, должен произойти целый ряд чудесных превращений, напоминающих сказочные превращения оборотней. Но такие превращения не проходят «безнаказанно», при них выделяется энергия, что ведет к изменению массы. От того-то масса атома гелия получается несколько меньшей массы четырех атомов водорода.

Прежде чем ознакомиться подробнее, с тем, как происходят эти превращения и как работает фабрика гелия в недрах звезд, надо сначала мысленно «погрузиться» в недра крошечных атомных ядер.

## ЯДРА И ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Наш знаменитый соотечественник Д. И. Менделеев еще в 1869 г. распределил все известные в его время химические элементы в таблице, всему миру известной теперь под названием таблицы Менделеева.

Элементы расположены в ней в порядке весов их атомов, причем места элементов в таблице связаны с их химическими свойствами. Все открытые впоследствии химические элементы улеглись в клетки таблицы Менделеева, оставшиеся пустыми и ныне достигли числа 106 *). Порядковый номер элемента в этой таблице, начиная с 1 для водорода и кончая числом 106, называется атомным номером и обозначается $Z$. Впоследствии физики открыли, что существуют атомы, имеющие несколько различный атомный вес, но совершенно одинаковые химические свойства, и назвали их *изотопами.* Многие химические элементы представляют смесь таких изотопов, причем процент того и другого изотопа в их природной смеси оказывается почти всегда постоянным. Атомный вес каждого изотопа, обозначаемый $A$, по сравнению с весом атома водорода выражается почти точно целым числом. Неодинаковая доля участия изотопов в их смеси, известной химикам просто под названием того или другого элемента, и обусловила то, что в таблице Менделеева встречаются атомные веса, не выражаемые целыми числами. При этих исследованиях были открыты, в частности, изотоп водорода с атомным весом 2 (тяжелый водород, или дейтерий) и изотоп гелия с атомным весом 3, тогда как до этого считалось, что атомные веса этих элементов близки к 1 и к 4. «Тяжелого водорода» и «легкого гелия» встречается в природе очень мало, и потому вес «обычных атомов» (т. е. средний атомный вес) этих элементов очень близок к весу их основных изотопов, равному соответственно 1 и 4. Все это изменило прежние представле-

*) В настоящее время искусственно получены новые элементы, более тяжелые, чем уран. Их назвали: нептуний (Np, $Z=93$), плутоний (Pu, $Z=94$), америций (Am, $Z=95$,), кюрий (Cm, $Z=96$), берклий (Bk, $Z=97$), калифорний (Cf, $Z=98$), эйнштейний (Es, $Z=99$), фермий (Fm, $Z=100$), менделевий (Md, $Z=101$), нобелий (No, $Z=102$), лоуренсий (Lr, $Z=103$), и курчатовий (Ku, $Z=104$). Кроме того, искусственным путем получены элементы: технеций (Tc, $Z=43$), прометий (Pm, $Z=61$), астат (At, $Z=85$) и франций (Fr, $Z=87$), не имеющие стабильных (т. е. не распадающихся) изотопов. Элементы 105 и 106 еще не получили официального наименования.

ния о том, что различие в атомном весе является главной причиной различия в химических свойствах элементов.

В помещенной здесь табличке приведены атомные номера $Z$ и атомные веса $A$ изотопов наиболее легких химических элементов, а также процентное участие каждого в их смеси, известной на Земле. Мы видим, например, что у бериллия нет изотопов, а у кислорода их целых три.

**Изотопы легких элементов**

| $Z$ | Символ | Элемент | $A$ | % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | H | Водород | 1<br>2 | 99,98<br>0,02 |
| 2 | He | Гелий | 3<br>4 | 0,00001<br>99,99999 |
| 3 | Li | Литий | 6<br>7 | 7,9<br>92,1 |
| 4 | Be | Бериллий | 9 | 100 |
| 5 | B | Бор | 10<br>11 | 18,8<br>81,2 |
| 6 | C | Углерод | 12<br>13 | 98,9<br>1,1 |
| 7 | N | Азот | 14<br>15 | 99,62<br>0,38 |
| 8 | O | Кислород | 16<br>17<br>18 | 99,76<br>0,04<br>0,20 |

Представление об атомах как о маленьких неделимых шариках пришлось заменить более сложным. Нормальный атом с атомным номером $Z$ состоит из крохотного ядра (диаметром порядка $10^{-13}$ *см*), окруженного свитой из $Z$ электронов. Электрон несет наименьший возможный заряд отрицательного электричества. Заряд $Z$ электронов уравновешивает такой же

по величине, но положительный заряд ядра. Если такой нейтральный атом потеряет один-два электрона, он приобретает единичный или двойной положительный электрический заряд, становясь *положительным ионом*, а если ему удается завлечь в свою свиту лишний электрон, то, получив этим единичный отрицательный заряд, он становится *отрицательным ионом*. Так, нейтральный атом водорода имеет один электрон, атом гелия — 2 электрона и т. д. Масса электронов составляет 0,000544 массы атома (практически — массы ядра) водорода, и 1836 штучек их надо было бы насыпать на чашку весов, чтобы уравновесить одно водородное ядро. Потеря электронов мало влияет на массу атомов.

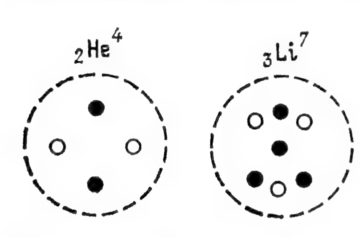



**Рис. 192.** Условная схема строения ядер атомов гелия и лития. Белые кружки — протоны, черные — нейтроны.

Химик, имея дело, скажем, с водородом или азотом, обозначает их H и N. Физик различает их изотопы, отличающиеся по массе, и обозначает их $H^1$ и $H^2$, $N^{14}$ и $N^{15}$, ставя справа вверху химического символа атомный вес *A*. Имея при этом в виду ядра атомов, он ставит еще внизу слева их атомный номер, например $_1H^1$, $_1H^2$, $_7N^{14}$ и $_7N^{15}$, электроны же обозначает $e^-$.

С 1932 г. в атомной физике пошло одно за другим открытие новых частиц, начиная с *нейтрона*, примерно равного по массе ядру водорода (названному *протоном* — «простейшим»), но лишенного электрического заряда.

«Простейший» оказался, однако, не так-то прост, и механически построить из него ядра других атомов оказалось невозможно даже в теории. Действительно, если бы ядро атома с массой *A* состояло попросту из *A* протонов, то его заряд *Z* равнялся бы *A*, тогда как на деле *A* всегда больше, чем *Z* (кроме как для самого водорода). Обычно *A* примерно вдвое превосходит *Z*. На самом деле оказалось, как это показали советский физик Д. Д. Иваненко и немецкий физик В. Гайзен-

берг, что ядро атома состоит из $Z$ протонов и $A - Z$ нейтронов, тогда его заряд равен $Z$ единиц, а атомный вес равен $Z+(A-Z)=A$.

Черное противоположно белому, светлое — темному, и в пару к отрицательному по заряду электрону была открыта такая же по массе частичка с таким же по величине, но положительным зарядом. Ее назвали *позитроном*. Позитрон скрывался до сих пор от нашего взора, пользуясь тем, что его жизнь недолговечна. В земных условиях уже через миллионную долю секунды он встречается с электроном, и... они оба превращаются в *два фотона*.

При химических реакциях атомы вступают в связь, оставаясь внутри молекулы неизмененными. При атомных или ядерных реакциях ядра атомов перестраиваются сами и дают новый атом с совершенно новыми химическими свойствами.

Химические реакции выражают формулами вида

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO.$$

Это означает, что два независимых друг от друга атома углерода, соединившись с молекулой кислорода, состоящей из двух его атомов, дают в результате две молекулы окиси углерода, обозначаемой $CO$.

Сходные обозначения применяются для описания ядерных реакций.

Алхимики прежних времен долго искали «философский камень» — способ превращать в золото малоценные металлы. Их труды были тщетны, их мечты не сбылись, атомы не желали в их руках превращаться друг в друга, но в XX веке наука обнаружила, что с некоторыми атомами эти «чудеса» происходят сами по себе, только золота при этом не получается. Так, например, атомы радиоактивных элементов урана и тория испытывают длинный ряд превращений в другие атомы. Эти необыкновенные превращения атомов урана и тория сопровождаются выбрасыванием из их недр ядер более легкого вещества — гелия и возникновением электронов и очень коротковолновых «жестких» (с малой длиной волны) электромагнитных

лучей, называемых $\gamma$-лучами. В конце концов уран и торий превращаются в свинец.

Ядра атомов гелия или $\alpha$-частицы (летящие со скоростью около 20 000 *км/сек*) оказались теми снарядами, которыми ученые смогли разрушить ядра некоторых других атомов и вскрыть для нас их природу. Налетая с большой скоростью на них, $\alpha$-частицы разбивали эти ядра и образовывали из осколков новые химические элементы. Для этого надо было эти $\alpha$-частицы добыть и направить в нужное место. Так английский физик Резерфорд в 1919 г. осуществил мечту алхимиков об искусственном превращении элементов.

Столкнув ядро гелия ${}_2\mathrm{He}^4$ с ядром азота ${}_7\mathrm{N}^{14}$, ему удалось превратить их в два других ядра: водорода и кислорода, правда, в форме редкого изотопа с атомным весом 17. Но ведь от этого, как мы уже знаем, кислород не перестает быть кислородом!

Это чудесное превращение можно записать формулой

$${}_7\mathrm{N}^{14} + {}_2\mathrm{H}^4 \longrightarrow {}_8\mathrm{O}^{17} + {}_1\mathrm{H}^1.$$

Обратите внимание, что суммы значков как верхних, так и нижних в правой и левой частях этого уравнения равны.

Альфа-частицы поставляются радиоактивными атомами, но еще более «бронебойные», лучше сказать, «ядернобойные» снаряды получаются от искусственно получаемых и разгоняемых протонов и ядер тяжелого водорода (дейтронов).

Для этой цели служат мощные ускорительные установки: циклотроны, линейные ускорители, синхроциклотроны, бетатроны, синхрофазотроны. С их помощью протоны, дейтроны и электроны разгоняются до огромных энергий, сравнимых с энергией космических лучей.

Нейтроны, не имеющие заряда и не отталкиваемые ядрами, еще лучше проникают в их недра и действуют еще разрушительнее. Пригодны для этой цели и «жесткие» $\gamma$-лучи.

За последние годы было искусственно произведено множество ядерных реакций. Из них особый интерес представили те, которые привели к новым радиоактивным ядрам. Новые ядра оказались крайне неустойчивыми, распадающимися уже самопроизвольно (т. е. без всякого внешнего воздействия, под влиянием внутренних причин) и очень быстро, отчего они и не встречались в природе. В конце концов у каждого элемента был найден один или несколько радиоактивных изотопов. Однако большинство этих «искусственных» радиоактивных ядер излучает не $\alpha$-частицы, а выбрасывает только электроны либо позитроны.

При искусственном преобразовании элементов, связанном с разрушением ядер, разрушающая частица необходимо должна иметь большую энергию, она должна нестись быстро, и этот разгон ей придается в лаборатории искусственно созданным электрическим полем. В природе же необходимую для разрушения ядер скорость разрушающим частицам дает высокая температура. Повышение температуры газа, как известно из физики, приводит к более оживленным движениям составляющих его молекул или атомов. Их скорости можно вычислить, зная температуру газа, а отсюда, зная массу атомов, легко определить энергию их движения, которая потом идет на работу разрушения ядер.

Конструкторы бронебойного оружия, зная массу пули, рассчитывают ту скорость, которую ей надо сообщить, чтобы она могла пробить броню заданной толщины. Подобно этому, мы можем рассчитать температуру, при которой энергия движения разрушающих частиц достаточна для проникновения их в недра атомных ядер.

Например два протона, несущихся навстречу друг другу, могут преодолеть взаимное отталкивание (усиливающееся при сближении) лишь при скорости, обусловленной температурой в 55 млн. градусов. Где же могут быть такие температуры?! Их нет не только в лаборатории, но и на поверхности звезд. Лишь в их недрах можем мы ожидать найти такие температуры, и к этому нас приводили любые теории внут-

реннего строения звезд еще задолго до того, как мы стали разбираться в ядерных реакциях. Там, в этих таинственных и невидимых недрах, вес вышележащих слоев звездной материи создает чудовищное давление и высокую плотность газа. В адской тесноте бешено носящиеся частички сталкиваются друг с другом и «обламывают друг другу бока» в том смысле, что уж внешние-то части атомов, т. е. их электронные оболочки, непрерывно от них отрываются. При этих температурах и давлениях ядра всех легких атомов должны обнажиться, так что в образовавшейся туче обломков оторванных, свободных электронов еще больше, чем ядер. Кому-нибудь из них удастся подхватить пролетающий мимо электрон, но ненадолго. Следующее же столкновение возвращает атомное ядро к его одиночеству. В земных и лабораторных условиях оболочки из внешних электронов, как щит, отчасти защищают ядра от роковых столкновений, в недрах же звезд только взаимное отталкивание служит этому помехой. Лучше всего защищены от ударов ядра тяжелых элементов, у которых большой заряд ядра и поэтому большая отталкивательная сила.

Интересно отметить следующее свойство этого как бы «искрошенного» вещества, составляющего самые недра звезд. При вычислении величин, характеризующих разные физические условия и события в недрах звезд, играет важную роль средний атомный вес частиц, их образующих. Казалось бы, он должен сильно зависеть от пропорции разных химических элементов, потому что атомный вес водорода 1, а урана 238. Это как будто напоминает задачу о среднем весе неизвестных фруктов в закрытой корзине, где могут быть и вишни, и яблоки, и арбузы. Однако при полной ионизации атомов в недрах звезд каждый из них раскалывается на $Z+1$ частицу (1 ядро и $Z$ электронов), если атомный номер атома равен $Z$. Тогда атомный вес смеси атомных обломков получается не $A$, а $A:(Z+1)$ и, например, для чистого водорода составляет $^1/_2$, а для чистого урана 2,6.

Таким образом, незнание точного химического состава звездных недр мало влияет на оценку вели-

чины среднего атомного веса частиц. Тяжелых атомов там не может быть очень много, и главную роль играет то или иное содержание водорода. Ряд данных заставляет считать, что Солнце по крайней мере на 50% состоит из водорода (по массе) и, следовательно, ввиду легковесности водородных атомов они составляют там подавляющее большинство, так что средний атомный вес в звездных недрах должен быть близок к 1.

Для того чтобы рассчитать скорость и действенность ядерных реакций в таком газе, надо знать структуру атомов, законы, действующие в их недрах, и притом все в численном виде, пригодном для математических расчетов, иначе мы будем иметь дело не с научной теорией, а с простыми предположениями.

Прежде всего нужно ответить на вопрос, что произойдет с частицей, влетевшей в ядро. Оказывается, иногда частица может попросту пролететь сквозь ядро. Далее, ядро может удержать проникшую в него частицу, отдав принесенную ею энергию путем излучения $\gamma$-лучей. Наконец, ядро, в которое проникла частица, может распасться, как в одной из реакций, описанных выше.

При разнообразии структуры ядер как своего рода крепостей можно ожидать большого разнообразия в типах столкновений и их последствий; опыты подтверждают эти ожидания и указывают, что для каждого данного типа ядер некоторые скорости столкновения для достижения желаемого результата благоприятнее, чем другие. Например, реакции, при которых сложное ядро, образовавшееся из двух столкнувшихся ядер, разломится на две (далеко не равные) части, гораздо вероятнее, чем реакции, при которых из сложного ядра выбросится только электрон или $\gamma$-луч.

Вычисления вероятности и скорости протекания различных ядерных реакций при разных температурах начались с 1929 г. Нас интересуют, конечно, те реакции, которые сопровождаются выделением энергии.

В ядрах атомов происходят удивительные превращения, которые показались бы нам невероятными,

если бы мы не убедились в них непосредственно. Выделяющиеся при этих превращениях энергии даже трудно себе представить, так они огромны. Оказалось, что общая энергия какого-либо тела связана с его массой, причем эта связь выражается формулой

$$E = mc^2,$$

где $E$ — энергия, $m$ — масса и $c$ — скорость света.

Для того чтобы охарактеризовать величину выделяющейся энергии, достаточно сказать,что сжигание тонны угля в чистом кислороде освобождает только $5 \cdot 10^{16}$ эргов энергии, тогда как, выделив всю энергию, заключенную в одной тонне (безразлично угля, соломы или чего-либо иного), мы получили бы в 18 миллиардов раз больше. Если выделить всю энергию, связанную с кусочком угля, величиной с горошину, то ее хватило бы для огромного океанского парохода, чтобы объехать кругом земной шар. Однако освободить всю энергию, связанную с какой-либо массой, мы пока не можем. В частности, убыль массы, связанная с превращением вещества в излучение при радиоактивном распаде, измеряется небольшими долями процента.

При радиоактивном распаде и при ядерных реакциях выделяется энергия, что связано с уменьшением массы участвующих в реакциях элементарных частиц. Совокупный результат таких событий, происходящих с мириадами атомов, дает ощутимый результат. Например, мы уверенно измеряем тепло, выделяемое в лаборатории радиоактивным веществом в объеме наперстка. Наконец, выделение тепла и вообще энергии при ядерных реакциях в недрах Солнца ощущается человечеством с первых дней его существования. Тепло Солнца сделало возможным возникновение и развитие жизни на Земле, и в известном смысле мы можем сказать, что мы с вами обязаны своим существованием тому, что в недрах далекого от нас Солнца идет непрерывное выделение энергии вместе с ничтожным уменьшением массы ничтожных атомов.

Чтобы техника будущего могла воспользоваться чудовищными запасами энергии, скрытыми в атомах,

чтобы вместо многих вагонов угля на океанские пароходы брать с собой в кругосветные плавания пробирку с каким-либо веществом, энергия которого должна быть использована в пути, надо будет пройти долгий путь. Еще не все тайны атомных ядер раскрыты, и раскрытию их помогает изучение небесных светил, бесконечно от нас далеких и, казалось бы, таких для нас бесполезных. К сожалению, многие люди не подозревают о том, что астрономия, считаемая ими занятием, далеким от жизни и праздным, является необходимейшим звеном в развитии и духовной и материальной культуры.

В звездах и в Солнце главным источником энергии являются ядерные реакции. При уменьшении массы частиц, участвующих в этих реакциях, уменьшается и связанная с ними энергия, а освободившаяся энергия излучается в мировое пространство. Следовательно, при излучении масса Солнца уменьшается.

Исходя из известной интенсивности излучения энергии Солнцем, мы приходим к заключению, что его масса ежесекундно убывает примерно на 4 миллиона тонн, которые уносятся излучением.

Чудовищное число! — но обнаружить подобное уменьшение непосредственно невозможно, так как оно ничтожно мало́ в сравнении с массой всего Солнца. За то время, что существует земная кора (3 миллиарда лет), Солнце потеряло только $^1/_{7500}$ часть своей массы. Если бы кто-либо мог с современной точностью определить массу Солнца на заре жизненного пути нашей планеты, то, сравнив ее с теперешними определениями, мы бы все равно не установили ее уменьшения. Точность определения массы небесных тел не достигает 0,01%, т. е. той величины, которой выражается относительное уменьшение массы Солнца за этот чудовищно долгий период времени.

При ядерных реакциях в лабораториях выделение энергии сопровождается уменьшением массы не на тонны, а на ничтожнейшие доли миллиграммов, но это составляет уже заметную долю массы самих атомов, тоже ничтожно малой. Умудрившись точно измерять

массу атома, физики сумели определить и ее изменение в результате ядерных реакций.

Подобного рода изменения проявляются в том, что массы атомных ядер разных химических элементов относятся друг к другу не в точности как целые числа.

Если атомный вес кислорода $O^{16}$ принять ровно за 16, как это всегда делается, то оказывается, например, что атомный вес водорода составляет не ровно 1, а 1,00812, атомный вес гелия $He^4$ не ровно 4, а 4,00390, дейтерия не ровно 2, а 2,01470. На последнем примере — простейшем — рассмотрим это подробнее. Два водородных ядра или протона ${}_1H^1$ с массой 1,00812—0,00054 = 1,00758, соединяясь, образуют пару, состоящую из дейтрона ${}_1H^2$ и позитрона. (У каждого протона один положительный заряд и, соединяясь, они дали бы двойной заряд, у дейтрона же только один положительный заряд, как и у протона, отчего носитель лишнего положительного заряда — позитрон — выделяется при образовании ядра.) Эту ядерную реакцию можно изобразить формулой

$${}_1H^1 + {}_1H^1 \rightarrow {}_1H^2 + e^+.$$

Выделенный при реакции позитрон, недолговечность которого уже отмечалась, быстро сливается с каким-либо свободным электроном. Слившись, они исчезают оба, превратившись в два кванта $\gamma$-излучения.

Таким образом, соединение двух протонов и чуждого им до этих пор отрицательного электрона приводит к рождению дейтрона и $\gamma$-излучения.

Масса образованного дейтрона вместе с позитроном составляет 2,01470 и на 0,00046 меньше массы двух протонов. За счет этой-то части, составляющей 0,00046 : 2,015 или 0,00022 (почти 0,02%) от исходной массы двух протонов, и возникли $\gamma$-кванты. При превращении грамма протонов в дейтроны выделится $6{,}8 \cdot 10^{17}$ эргов. Это примерно в тысячу раз меньше энергии, заключенной в одном грамме протонов, но все же в пять раз больше, чем энергия, отданная одним граммом солнечного вещества за всю его жизнь, т. е. за несколько миллиардов лет. Мы видим, что по

порядку величины лишь ядерные реакции (реально существующие и наблюдаемые нами в лаборатории) могут (и вполне удовлетворительно) играть роль машины, накачивающей энергию к солнечной поверхности.

## «ЦИКЛ ПИТАНИЯ» ЗВЕЗД

Уже с тридцатых годов астрофизики не сомневались, что из ядерных реакций у легких элементов единственной, способной достаточно долго и энергично поддерживать излучение звезд главной последовательности диаграммы спектр — светимость, является образование гелия из водорода. Другие реакции либо продолжаются слишком короткое время (конечно, в космическом масштабе!), либо дают слишком малый выход энергии.

Однако путь прямого объединения четырех ядер водорода в ядро гелия оказался невозможным: реакция превращения в недрах звезд водорода в гелий должна идти «окольными путями».

Первый путь состоит в последовательном соединении сначала двух атомов водорода, потом присоединения к ним третьего и т. д.

Второй путь заключается в преобразовании водорода в гелий с «помощью» атомов азота и особенно углерода.

Хотя первый путь, казалось бы, более прост, в течение довольно длительного времени он не пользовался «должным уважением», и астрофизики считали, что основной реакцией, питающей звезды энергией, является второй путь — «углеродный цикл».

На постройку ядра гелия идет четыре протона, которые сами по себе ни за что не желают сложиться в $\alpha$-частицу, если бы им не помогал углерод.

В цепи этих реакций углерод играет роль необходимого пособника и как бы организатора. В химических реакциях тоже встречаются такого рода пособники, называемые катализаторами.

При постройке гелия энергия не только не затрачивается, а наоборот, освобождается. Действительно,

цепь превращений сопровождалась выбросом трех $\gamma$-квантов и двух позитронов, тоже превратившихся в $\gamma$-излучение. Баланс составляет: $10^{-5}$ $(4\cdot 1{,}00758-$ $-4{,}00390)=0{,}02642\cdot 10^{-5}$ единиц атомной массы.

Энергия, связанная с этой массой, и освобождается в недрах звезды, просачиваясь медленно к поверхности и излучаясь затем в мировое пространство. Фабрика гелия работает в звездах непрерывно до тех пор, пока не иссякнут запасы сырья, т. е. водород. Что происходит потом, мы скажем дальше.

Углерода, как катализатора, хватит на неограниченно долгий срок.

При температурах порядка 20 млн. градусов действие реакций углеродного цикла пропорционально 17-й степени температуры! При некотором удалении от центра звезды, где температура ниже только на 10 %, выработка энергии падает в 5 раз, а где она ниже в полтора раза — падает в 800 раз! Поэтому уже недалеко от центральной, наиболее раскаленной области образования гелия за счет водорода не происходит. Остальной водород обратится в гелий после того как перемешивание газов внесет его на территорию «фабрики» — к центру звезды.

В начале пятидесятых годов выяснилось, что при температуре в 20 млн. градусов, а тем более при более низких температурах еще эффективнее оказывается протон-протонная реакция, также приводящая к потере водорода и к образованию гелия. Вероятнее всего она протекает в такой цепи превращений.

Два протона, столкнувшись, испускают позитрон и квант света, превращаясь в тяжелый изотоп водорода с атомным весом 2. Последний после слияния с другим протоном превращается в атом легкого изотопа гелия с атомным весом 3, испуская при этом избыток массы в форме излучения. Если таких атомов легкого гелия накопилось достаточно, их ядра при столкновении образуют нормальный атом гелия с атомным весом 4 и два протона с квантом энергии в придачу. Итак, в этом процессе потерялось три протона, а возникло два — один протон убыл, но зато трижды излучалась энергия.

По-видимому, Солнце и более холодные звезды главной последовательности диаграммы светимость — спектр черпают энергию из этого источника.

Когда весь водород превратится в гелий, звезда может еще существовать за счет превращения гелия в более тяжелые элементы. Например, возможны процессы:

$$\mathrm{He}_2^4 + \mathrm{He}_2^4 \longrightarrow \mathrm{Be}_4^8 + \text{излучение},$$
$$\mathrm{He}_2^4 + \mathrm{Be}_4^8 \longrightarrow \mathrm{C}_6^{12} + \text{излучение}.$$

Одна частица гелия дает при этом выход энергии, в 8 раз меньший, чем ее дает та же частица при углеродном цикле, описывавшемся выше.

В последнее время физики находят, что в некоторых звездах физические условия допускают возникновение и еще более тяжелых элементов, таких, как железо, и вычисляют пропорцию возникающих элементов в согласии с той распространенностью элементов, которую мы встречаем в природе.

У звезд-гигантов средняя отдача энергии на единицу их массы гораздо больше, чем у Солнца. Однако общепринятой точки зрения на источники энергии в красных звездах-гигантах еще нет. Источники энергии в них и их строение нам еще не ясны, но, по-видимому, скоро станут известны. По расчетам В. В. Соболева красные гиганты могут иметь такое же строение, как горячие гиганты, и иметь те же самые источники энергии. Но они окружены обширными разреженными и холодными атмосферами, которые и придают им вид «холодных гигантов».

Ядра некоторых тяжелых атомов могут образоваться в недрах звезд за счет соединения более легких атомов, и при некоторых условиях, даже в их атмосферах.

## ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗВЕЗД

Происхождение источников звездной энергии не может быть выяснено без знания физического строения звездных недр, т. е. без теории внутреннего строения звезд. Проверить же ее очень трудно, потому что

недра звезд недоступны для наблюдений. Все, что тут можно сделать,— это теоретически строить различные модели звезд, согласованные с известными нам законами механики и физики. Сравнение их с действительностью можно сделать только через посредство связей, существующих между массой, светимостью, отдачей энергии и свойствами поверхностных слоев звезд. Но тут в свою очередь нужно знать источники звездной энергии. Все же в 1916 г. Эддингтон показал, что, и не зная этого, можно составить представление о свойствах звездных недр. К 1926 г. он развил теорию, правдоподобно рисующую строение звезд и довольно хорошо совпадающую с наблюдениями.

Мы рассматриваем звезду как тело, подверженное действию разных сил. Сила тяготения стремится стягивать вещество звезды к центру, газовое же и световое давления, направленные изнутри, стремятся оттолкнуть его от центра. Так как звезда, как мы видим, существует как устойчивое тело, не сжимается заметно и не распухает, то, следовательно, между борющимися силами есть какое-то равновесие. Для этого температура разных слоев в звезде должна установиться такая,— и ее рассчитали,— чтобы в каждом слое поток энергии наружу уводил к поверхности всю энергию, возникающую под ним. При этом рассматривали два случая: 1) вся энергия производится в точечном центре звезды и 2) энергия производится всей массой звезды, но меняется определенным образом от слоя к слою, в зависимости от его плотности и температуры. Так нашли, что в центре Солнца температура составляет около 13 000 000°, а плотность в 76 раз больше плотности воды. Вычислили и изменение этих величин по мере приближения к поверхности, а другие ученые проверили и подтвердили эти выводы.

В 1926 г., не имея еще никаких опытных данных, допускали два источника питания звезд — выделение всей энергии, связанной с массой при соединении протона с электроном, и образование гелия из водорода. Последнее считали более вероятным, хотя в то время о возможности этого ничего не было известно.

Прошло всего два десятка лет с тех пор, и мы узнали, что истина лежит посредине между двумя упомянутыми выше звездными моделями и что в них заложено даже не зерно истины, а нечто большее.

Гелий из атомов водорода действительно образуется и в самом деле не простым их слиянием. При этом действительно происходит уменьшение массы образующегося вещества, так как часть ее, вместе с присущей ей энергией, переходит в массу и энергию $\gamma$-квантов; это и есть источник энергии, питающий звезды. Наконец, энергия образуется действительно в центре звезды, но не в точке, а в небольшом центральном ядре.

Пересмотр теории внутреннего строения звезд на основе установленного источника питания их энергией очень мало изменил описанные выводы. На истории этого вопроса мы еще раз убеждаемся в том, как развитие науки уточняет картину мира и как из «устаревших» теорий сохраняются те зерна истины, без которых подъем на следующую ступеньку знания был бы невозможен. В этом смысле прав оказался и Гельмгольц, предполагавший в прошлом столетии, что сжатие звезды есть источник ее энергии. Теперь мы согласны и с ним, но только для начального периода жизни звезды, когда вследствие сжатия температура ее недр повышается настолько, что становятся возможными ядерные реакции. Начавшись, они уже очень долгий срок (пока хватит запасов водорода в звезде) снабжают ее энергией. В Солнце сейчас около 50% водорода (по массе), а раньше его было еще больше. Этого запаса Солнцу не только «на наш век хватит», но и хватит еще на много миллиардов лет.

Одна из книжек, посвященных использованию солнечной энергии, не совсем удачно была названа так: «Солнце — двигатель, Солнце — теплота». Если все же принять это заглавие, то следует иметь в виду, что если Солнце — двигатель, то оно, как и любая звезда, является «двигателем внутреннего сгорания»*).

---

*) Подробнее о внутреннем строении звезд рассказывается в популярной книжке С. А. Каплана «Физика звезд», изд. 2-е, «Наука», 1970.

## РОЖДЕНИЕ ДИФФУЗНОЙ МАТЕРИИ

Еще древние греки рисовали себе мир происшедшим из беспредельного хаоса. Эти представления о происхождении компактных мировых тел из разреженной и хаотической материи, обычно мыслимой как газ, бессознательно отражены и в идеях Гершеля о сгущении туманностей в звезды и в гипотезах Канта, Лапласа и других о рождении солнечной системы из туманности, в теориях Джинса об образовании спиральных звездных систем.

Трудно отрешиться от подобных представлений потому, что сейчас едва ли можно себе сколько-нибудь отчетливо представить какой-либо другой процесс образования звезд, помимо сгущения разреженного вещества в плотные тела. Из различных форм вещества во Вселенной в настоящее время мы, кроме больших тел (звезд и планет), знаем лишь диффузный газ и метеоритную пыль.

Как естественное следствие представления о сгущении газа в звезды, со времен Гершеля диффузные туманности, такие, как туманность Ориона, рассматривались как остатки первичной туманности, как своего рода обрезки материи, из которой были скроены звезды. Более двух веков этот вопрос не пересматривался, но к настоящему времени накопилось множество фактов, которые позволили автору этой книги выступить в 1931 г. с гипотезой совершенно другого характера. Она вытекает сама собой из совокупности наблюдений.

Сущность дела состоит в том, что наблюдаемые сейчас диффузные туманности и межзвездный газ, а быть может, и межзвездную пыль следует рассматривать, по крайней мере в значительной своей части, как продукт деятельности звезд. Процесс образования масс диффузного газа происходит в настоящее время, можно сказать, на наших глазах. Он происходил и раньше и будет еще происходить долго в будущем.

Прежде всего укажем на то обстоятельство, что у многих планетарных туманностей обнаружено ради-

альное расширение со скоростью десятков километров в секунду. С космической точки зрения медленно, но неуклонно планетарные туманности, эти газовые скорлупки, окружающие свои звездные ядра, расширяются, как мыльные пузыри. Газовая оболочка, движущаяся со скоростью десятков километров в секунду и отстоящая от своей звезды на сотни и тысячи астрономических единиц, не может быть ею задержана. Расширение туманности, ее разрежение и растворение в межзвездном пространстве неизбежны. Рано или поздно планетарная туманность небольших размеров и четких очертаний расползется, превратится в межзвездный газ и утратит связь со своей звездой. Если масса планетарной туманности достаточно велика, то по прошествии некоторого времени, расширившись, она займет такое пространство, будучи еще в то же время достаточно плотной, что превратится в диффузную туманность. Диффузная туманность отличается от планетарной лишь своими большими размерами и неправильностью формы. Но при ничтожно малой вероятности совершенно симметричного расширения всех частей, имеющих разную плотность, правильная форма планетарной туманности с течением времени должна нарушаться все больше и больше.

Можно видеть на небе примеры туманностей типа переходного от планетарных к диффузным, и можно заметить, что в общем чем больше размеры планетарной туманности, тем больше приближается она к типу диффузной туманности.

Что планетарные туманности образованы за счет газов, выделенных когда-то самой звездой, сидящей внутри каждой из них, в этом нет никаких сомнений. Итак, за счет газов, выделенных когда-то звездами — ядрами планетарных туманностей, все время образуются разреженные межзвездные газы, а в некоторых случаях и диффузные туманности.

Уже через сто миллионов лет газы расширившейся планетарной туманности (считая время от начала ее возникновения) совершенно теряют связь с породившей их звездой и переходят в сферу действия других

звезд. По оценке автора масса оболочки планетарной туманности составляет от $^1/_{10}$ до $^1/_{100}$ массы Солнца, и в нашей звездной системе — Галактике — в настоящее время содержится много тысяч таких туманностей. Допустив, что в Галактике всегда существовало только десять тысяч планетарных туманностей одновременно и что Галактика существует так же долго, как земная кора (а это наименьший возможный возраст Галактики), мы приходим к следующему заключению.

С тех пор как Галактика существует, звезды, образующие вокруг себя планетарные туманности, доставили в мировое пространство массу газов, по меньшей мере равную массе десяти миллионов солнц,— массу, весьма внушительную, а вероятно, в действительности она во много раз больше.

Кроме планетарных туманностей, непосредственно на наших глазах газы выбрасываются в мировое пространство новыми и сверхновыми звездами, о чем уже говорилось нами подробно. Даже если оставить в стороне мало еще изученные сверхновые звезды, выбрасывающие большие массы газа, то и тогда масса, даваемая обычными новыми звездами, достаточно внушительна.

Каждая из них при вспышке выбрасывает массу в $10^{-4}$—$10^{-5}$ масс Солнца, и таких вспышек в нашей Галактике ежегодно происходят десятки. Если за время существования земной коры новые звезды в Галактике всегда вспыхивали так же часто, как сейчас, то за это время они извергли в межзвездное пространство столько же газа, сколько его было поставлено планетарными туманностями. Еще столько же дают, по-видимому, и вспышки сверхновых звезд.

Звезда Вольфа — Райе теряет в год около $10^{-5}$ массы Солнца путем непрерывного выбрасывания атомов со своей поверхности. По-видимому, такой процесс длится у нее около десяти тысяч лет. Два разных способа оценки числа звезд Вольфа — Райе в Галактике согласно приводят к числу в четыреста тысяч. Если такая пропорция существовала в Галактике все время с тех пор, как родилась Земля, то, значит,

за это время межзвездное пространство приобрело массу газа, из которой можно было бы сделать три миллиарда солнц.

Если звезды Вольфа — Райе способны так энергично выбрасывать атомы даже не десять тысяч лет, а только десять лет, то и тогда их роль как поставщиков газа в пространство не уступала бы роли планетарных туманностей и новых звезд. В какой-то мере даже наше Солнце и все звезды теряют вещество со своей поверхности, заполняя им окружающее пространство.

Если учесть еще, что, вероятно, все звезды, а не только указанные выше, поставляют в межзвездное пространство свой газ (путем выброса протуберанцев или иначе), то окажется, что масса газа, выброшенного звездами за время существования Галактики, может быть, даже превосходит наблюдаемую в ней теперь массу диффузной материи. А тогда нужно сделать вывод, что масса диффузной материи не только прибывает, но и убывает. Куда она может убывать? Очевидно, она снова конденсируется в более плотные тела — в звезды и т. п.

Итак, все перечисленные звезды, являющиеся источником разреженного газа, за время, несомненно меньшее, чем время существования Галактики, рассеяли в пространство массу газа, из которой можно было бы сделать по меньшей мере миллиарды солнц.

Различные способы оценки количества диффузной материи в Галактике (как в форме газа, так и в форме пыли) приводят к значениям, содержащимся между $10^8$ и $10^{10}$ масс Солнца. Таким образом, газа, выброшенного звездами, совершенно достаточно, чтобы образовать все существующие газовые туманности и межзвездную газовую среду и даже пылевые туманности (светлые и темные). Изложенный выше вывод автора этой книги о большой космогонической роли диффузных туманностей и продолжающемся процессе их формирования в Галактике был отмечен Всесоюзным совещанием по звездной космогонии (происходившим в Москве в мае 1952 г.) в числе наиболее значительных достижений советской звездной космогонии.

К настоящему времени представление об огромности массы газа, выбрасываемой звездами, и о том, что она снова становится материалом, из которого конденсируются звезды, стало общепринятым. Конечно, возможно и необходимо, чтобы первые поколения звезд каждой галактики возникали из «первичного» газа, происшедшего не из звезд, а иным путем.

Не следует думать, что намеченный нами круговорот газа и звезд вызывает вечное повторение пройденного. Как и круговорот жизни на Земле, круговорот во Вселенной ведет к изменениям. Теперь на Земле растения и животные уже не те, какие, погибая, удобряли собой Землю миллионы лет назад. Излучение звезд сопровождается превращением их водорода в гелий, а в их недрах, по-видимому, происходит возникновение тяжелых химических элементов. Поэтому химический состав звезд изменяется, и потому меняется состав выбрасываемых ими газов, из которых потом возникают другие звезды. Состав рождающихся сейчас звезд иной, чем он был у звезд, рождавшихся ранее, и не все вещество звезд распыляется в пространство. Количество газа в звездных системах постепенно убывает. Наблюдения показывают, что есть звезды, богатые водородом или металлами или же бедные ими. По-видимому, это звезды разных периодов образования, сгущавшиеся из газа, имевшего разный химический состав и не всегда, или по-разному «варившегося» в недрах звезд.

В противоположность этому академик В. А. Амбарцумян полагает, что туманности и горячие звезды возникают одновременно из какой-то сверхплотной формы вещества, что в основном туманности образуются не за счет выброса газа звездами, хотя такой выброс значительных масс он не отрицает.

Возникает вопрос, могли ли газы образовать межзвездную космическую пыль? По этому поводу только совсем недавно кое-что выяснилось. На основе выводов о процессе конденсации металлических паров на твердых телах некоторые ученые считают возможным конденсацию газовых молекул на частицах кос-

мической пыли благодаря разности температур этих частиц и межзвездного газа. Энергия столкновения атома с пылинкой быстро излучается в пространство или частично переходит во внутриатомную энергию, так что пылинка остается холодной. За миллиард лет масса частицы, которая вначале, может быть, чрезвычайно мала, достигнет $10^{-15}$ *г*, как показывают подсчеты, а это уже масса частиц темных туманностей.

Ядра конденсации ничтожно малых размеров могли возникнуть при разрушении таких тел, как ядра комет. Достаточно, чтобы ничтожная часть всей космической пыли имела такое происхождение, и это обеспечит дальнейший рост массы каждой пылинки.

Известный процент атомов с малыми скоростями может и непосредственно вступать в молекулярные соединения, а затем и в группы молекул, т. е. в зародыши пылинок.

Там, где выброшенные звездами газы собираются в облака и образуют таким образом диффузные туманности, они могут светиться, если есть достаточно горячая звезда, могущая возбудить их свечение. Когда в таких туманностях накопится достаточно много твердых частиц, образуется темная пылевая туманность, светящаяся, если поблизости окажется достаточно яркая, хотя бы и не горячая звезда. Некоторые ученые развивали теорию роста метеоритных пылинок путем соединения одних из них с другими, более мелкими пылинками.

Мы подошли к вопросу о происхождении звезд.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД

Вопреки упоминавшимся реакционным попыткам объявить весь мир и все звезды возникшими одновременно 2—3 миллиарда лет назад, мы имеем много свидетельств того, что все звезды, даже в нашей Галактике, не могли возникнуть в одно время. Среди звезд имеются, несомненно, и более «старые» и более «молодые».

Быть может, кое-где рождение звезд происходит в нашей Галактике и в настоящее время. Звезды, кото-

рые мы видим, — это по большей части не обитатели детского сада или дома для престарелых. Нашу звездную систему в целом надо считать находящейся в расцвете своей жизни, хотя в ней есть, несомненно, и старики и новорожденные, которых мы только учимся отличать друг от друга. Плодотворное представление о том, что звезды возникают в нашей Галактике и в настоящее время, впервые было высказано в 1947 г. В. А. Амбарцумяном. Это представление стимулировало развитие целого ряда исследований, подтверждающих различие возраста различных звезд и их систем.

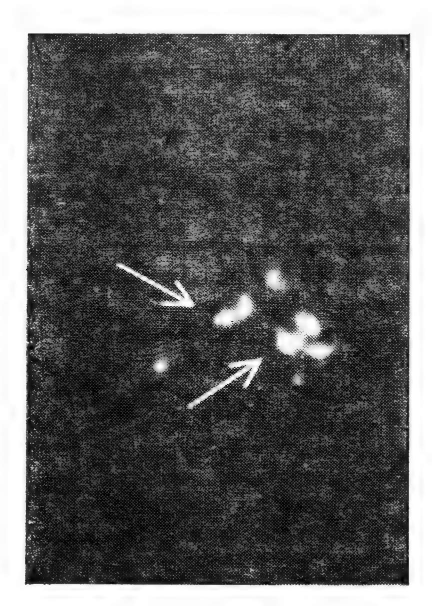


Рис. 193. Звезды Хербига.

Убедительным доводом в пользу молодости звезд являются случаи, когда они наблюдаются расположенными в ряд, цепочкой или же образуют кучку — ассоциацию, но не столь тесную, чтобы она сдерживалась взаимным тяготением. Особенный интерес представляет открытие, сделанное Хербигом на Ликской обсерватории. Он обнаружил в созвездии Ориона несколько очень слабых звездочек, из которых каждая окружена крошечной туманной оболочкой с необычайным характером свечения. Звездочки эти довольно холодные и сходны с неправильными переменными звездами типа Т Тельца, имеющими небольшую светимость. В 1954 г. Хербиг обнаружил в этой тесной кучке туманных звездочек две новые звездочки такого же вида, которых на снимке 7 лет назад не было видно. С тех пор эти звездочки не меняют своего блеска.

Возможно, что в данном случае наблюдалось рождение звезд, которые со временем станут переменными звездами типа Т Тельца, также часто связанными с необычными слабыми туманностями.

Не сгущаются ли звезды из межзвездной пыли?

В обычных пылевых туманностях нет явных признаков превращения их вещества в звезды. Недавно были открыты очень маленькие, пылевые туманности, производящие однако, заметное поглощение света. Их назвали *глобулами*, и сравнительно небольшое число их видно только на фоне некоторых светлых и больших туманностей. Некоторые думают, что дальнейшее сжатие глобул, несомненно содержащих и газ, приводит к их разогреванию и свечению, к их превращению в газовые звезды. Но откуда в звездах, возникших таким путем из межзвездной пыли, возьмется такое большое количество водорода, какое обычно в них содержится,— неясно. Некоторые допускают, что среди межзвездной пыли должно быть много замерзших газов, содержащих очень обильный во Вселенной водород.

Одними из наиболее молодых звезд большинство астрономов считает также самые массивные и в то же время самые горячие звезды. Они расходуют свою энергию так щедро, так расточительно, что обанкротились бы давным-давно, если бы они давно и возникли. Если мы их еще видим сейчас в состоянии такого расходования энергии, значит, они вступили на путь мотовства лишь недавно,— не более 10 миллионов лет назад. Мы не знаем ведь других звезд со столь же большой или большей массой, но более бережливых, которые можно было бы считать находящимися на стадии развития, предшествующей горячим гигантам. К молодым звездам относят некоторые переменные звезды.

В. А. Амбарцумян предполагает, что видимое на небе скучивание гигантских горячих звезд отражает в точности их скучивание в пространстве. Эти группы горячих звезд, названные им О-ассоциациями, он считает системами по размерам своим промежуточными между звездными скоплениями и звездными

облаками, причем системами неустойчивыми. Он предполагает, что образующие их горячие звезды возникли тут недавно из какого-то сверхплотного дозвездного вещества. После своего группового выброса они разлетаются в стороны и, расходясь в пространстве, уже через миллион лет превращаются в более холодные звезды.

В. А. Амбарцумян считает, что звезды более слабых светимостей возникают в виде неправильных переменных звезд типа Т Тельца, и места, где они скучиваются, назвал Т-ассоциациями, предполагая, что эти группы звезд тоже расширяются, образовавшись из некоторых сверхплотных дозвездных тел.

Автор этой книжки на основании своих исследований сомневается в существовании радиально разлетающихся групп горячих гигантов, имеющих размеры, указанные выше. Соглашаясь с тем, что эти звезды, вероятно, молодые, он считает, что они находятся лишь в составе обычных звездных скоплений и в составе огромных звездных облаков, образуя сравнительно немногочисленные группы, типа флуктуаций. Видимое же скучивание таких звезд он объясняет тем, что в соседних с ним местах в зоне Млечного Пути подобные звезды, как и все другие далекие от нас звезды, скрыты облаками космической пыли.

В просветах же между облаками пыли возникают так называемые «коридоры видимости». В них мы видим горячие звезды и другие объекты, находящиеся на всевозможных расстояниях и проектирующиеся друг на друга, отчего и получается картина видимого скучивания их. Конечно, горячие звезды, как и все остальные, распределены в облаках неравномерно, но это уже другое дело.

Согласно исследованиям автора этой книги можно указать, как на преимущественные области зарождения горячих гигантов и других звезд в спиральных галактиках, на узкие и длинные гряды, расположенные часто в виде прямолинейных звеньев на ветвях спиральных рукавов в спиральных звездных системах. Здесь десятки и сотни тысяч гигантов, обволакиваемых порожденными ими же газовыми туман-

ностями, своим расположением напоминают грозди винограда. Здесь же должно зарождаться и большинство рассеянных скоплений. Как все малыши, новорожденные гиганты и другие звезды стремятся расползтись по сторонам из отчего дома в силу различия скоростей, возникающих у них при рождении. В результате узкие и яркие спиральные ветви постепенно превращаются в обширные облака, состоящие, в частности, и из горячих гигантов, в облака, расположение которых по спирали становится менее отчетливым. За время этого процесса рождение гигантов и других звезд продолжается и в прежних местах и, в виде отдельных исключений, в обрывках от спиральных рукавов.

## ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ ЗВЕЗД

Современная теория эволюции, т. е. жизненного пути звезд, опирается на теорию их внутреннего строения и источники звездной энергии. Она опирается на физические теории: термодинамику, гидродинамику, ядерную физику, теорию излучения и его переноса и т. д., а для получения числовых результатов требует обширных вычислений. С пятидесятых годов последние очень облегчились с введением в практику быстродействующих электронных счетных машин.

Возникнув как сгущение в газово-пылевой среде, звезда имеет своим единственным источником энергии гравитационное сжатие, пока температура в центре не достигнет значения, при котором начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Уже давно было подсчитано, что у массивных звезд эта стадия занимает сотни тысяч лет, а у звезд с массой, меньшей чем у Солнца, эта стадия тянется сотни миллионов лет.

Когда температура центральной области уже достаточна для того, чтобы выделение энергии ядерных реакций компенсировало охлаждение звезды с поверхности, сжатие ее прекращается. Это равновесие прихода и расхода тепла наступает при тем большей

температуре, чем масса звезды больше. Выход энергии ядерных реакций, как уже говорилось, очень сильно зависит от температуры. Этим и объясняется наблюдаемый рост светимости с массой звезды (если говорить об основной массе звезд).

Для дальнейшего важно, сохраняется ли достаточно постоянной масса звезды и есть ли в ней перемешивание вещества (конвекция), при котором топливо (водород) все время поступает из внешних частей к ядру, где оно «сгорает».

В 1942 г. Чандрасекар и Шенберг сделали важный шаг дальше. Приняв, как делают и сейчас, с достаточным основанием, что масса звезды постоянна, а перемешивания нет, они заключили, что вместо «сгоревшего» в центре водорода возникает гелиевое ядро, все время растущее. Светимость звезды при этом должна возрасти в $2^1/_2$ раза к той эпохе, когда масса гелиевого ядра достигает 10% от полной массы. Водород выгорает долго: у массивных звезд сотни тысяч лет, у звезд с массой Солнца — несколько миллиардов лет. Ввиду этого большинство звезд на этой стадии мы и застаем.

Важным и неожиданным был результат расчетов М. Шварцшильда и Сандейджа в 1952 г. Они нашли, что гелиевое ядро, лишившееся источников энергии, станет сжиматься, а внешние слои будут расширяться. Энергия будет поступать только из тонкого водородного слоя вокруг ядра. При надлежащем подъеме температуры в ядре наступит реакция, при которой три ядра атома гелия превращаются в ядро атома углерода, и эта новая выделяющаяся энергия питает звезду, превращающуюся в красного гиганта (или сверхгиганта!). Это превращение идет тем быстрее, чем больше масса звезды.

Для сравнения данных теории с наблюдениями надо обратиться к диаграмме Герцшпрунга — Рессела (сокращенно — диаграмме Г — Р), иначе говоря, к диаграмме спектр (или цвет, или температура поверхности) — светимость. Мы о ней говорили уже вскользь в разделе «Перепись звездного населения на диаграмме светимостей — спектров». Эта перепись

вместе с кривой, связывающей массы и светимости звезд, является важнейшим обобщением наблюдений — картиной существующих сочетаний основных физических характеристик звезд. Теории звездной эволюции должны ей удовлетворять. На рис. 152 схематически полосами изображено расположение звезд основных последовательностей, которые выявлены в общей массе изученных звезд. При этом по горизонтальной оси вместо спектров или температур отложен показатель цвета — разность звездной величины звезды в синих и в визуальных лучах. Использование фотоэлектрических фотометров позволило очень точно измерять эти величины. Очень важно, что их этим способом можно измерять и у очень слабых и далеких звезд. Увеличение точности измерения цвета звезд сыграло огромную роль в развитии теории звездной эволюции. Положение звезды на диаграмме должно зависеть от ее массы, начального химического состава и возраста.

Мы видим, что диаграмма Г — Р стала гораздо сложнее, чем казалось сначала. На помощь теории эволюции звезд пришло изучение яркости и цвета звезд в разных рассеянных и шаровых скоплениях.

На рис. 194 представлена знаменитая, классическая сводная диаграмма, составленная Сандейджем в 1957 г. по наблюдениям ряда рассеянных и шарового скоплений. Названия их указаны.

Мы видим, что все скопления имеют в нижней части диаграммы Г — Р общую главную последовательность звезд (отмечено, где на ней находилось бы наше Солнце). Но верхние концы последовательности в каждом скоплении простираются неодинаково далеко и все отклоняются вправо, причем ответвление вправо происходит при разной абсолютной величине (при разной светимости) и при разных значениях показателя цвета.

Обратим внимание, например, на то, что скопления $\chi$ и h (хи и аш) Персея, имеющие очень яркие голубые звезды (слева вверху), имеют еще и ветвь красных сверхгигантов (справа вверху), что ярчайшие голубые звезды Плеяд менее ярки, а в NGC 752

совсем слабы и не голубые, а желтоватые. Правая ветвь у М 67 сильно отличается от остальных и сходна больше с ветвью для шарового скопления М 3.

Все это крайне важно потому, что звезды одного скопления занимают малый объем и возникли из

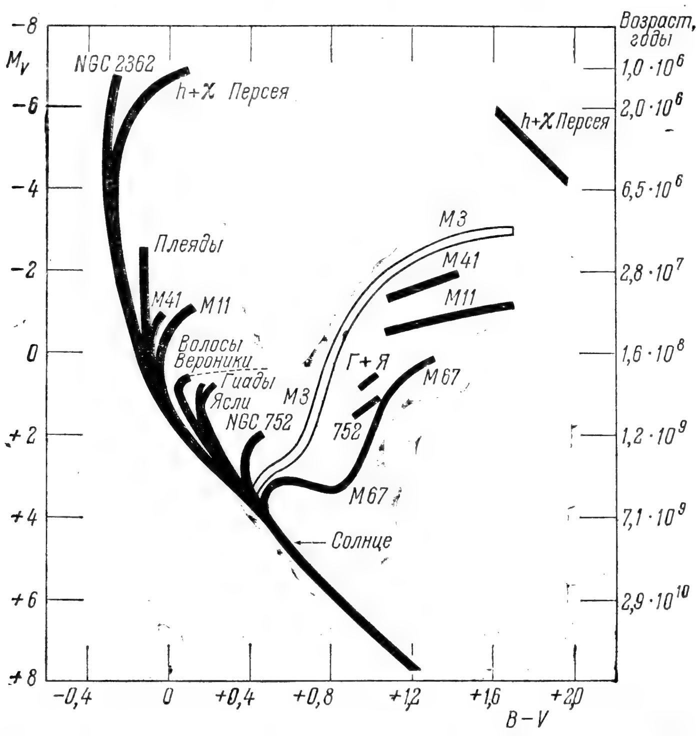



Рис. 194. Диаграмма Сандейджа для звездных скоплений.

единого облака газа, а поэтому должны были иметь одинаковый начальный химический состав. Возраст звезд скопления должен быть примерно одинаковым.

Спасибо природе за существование звездных скоплений. Они заменили астрономам лаборатории, в которых физики создают известные им условия и не допускают воздействия на вещество слишком многих факторов сразу.

С другой стороны, теория позволила вычислить положение на рис. 194 теоретической линии главной последовательности для недавно образовавшихся звезд (линия «нулевого возраста» или линии начальной главной последовательности), а также линии для звезд в возрасте одного и пяти миллиардов лет. Большинство ближайших к нам звезд оказывается тогда моложе пяти миллиардов лет, так как на диаграмме Г — Р они лежат левее кривой, соответствующей $5 \cdot 10^9$ лет.

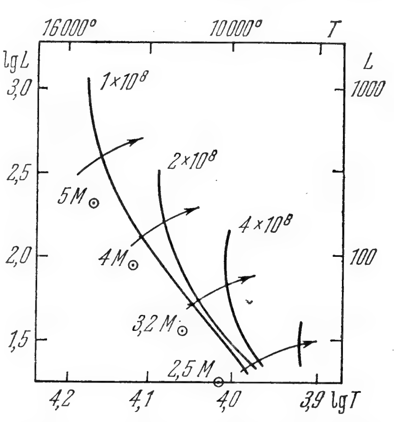



Рис. 195. Теоретические треки звезд.

На рис. 195 показаны на диаграмме Г — Р теоретические кривые Шварцшильда, соединяющие звезды равного возраста ($10^8$ лет, $2 \cdot 10^8$ лет и т. д.) и эволюционные пути (треки) звезд разной массы — от 2,5 до 5 масс Солнца. По вертикальной оси отложен логарифм светимости, по горизонтальной оси логарифм температуры, которая вместо цвета используется при подлинных расчетах.

Но на кривых для звездных скоплений на рис. 196 различие положений звезд одного скопления должно зависеть только от их массы, а различия между кривыми разных скоплений должны зависеть от различия возраста и начального химического состава.

Более массивные и более яркие звезды быстрее сжигают водород, и их жизнь короче, а звезды, подобные Солнцу, остаются на главной последовательности около 5 млрд. лет, тогда как звезды, в 10 раз более массивные — в 1000 раз меньше. Это объясняет различие высоты верхнего конца главной последовательности у разных рассеянных скоплений.

У очень молодого скопления звезды находятся на главной последовательности. С возрастом скопления

более массивные звезды первыми покидают главную последовательность и смещаются на диаграмме вправо, как показывает рис. 194. Так, со старением скопления верхний уровень главной последовательности постепенно понижается. Этот возраст определяется временем нахождения звезды верхнего конца на главной последовательности. Иначе говоря, он определяется положением точки, где звезды начинают отклоняться вправо от главной последовательности.

Таким образом находят, что скопление NGC 2362 моложе миллиона лет, Плеядам около 20 млн. лет, а M 67 и M 3 более 10 млн. лет.

После того как звезды оставляют главную последовательность, они, по теории, перемещаются вправо в область красных гигантов или сверхгигантов, в зависимости от их массы. В каждом скоплении красные гиганты или сверхгиганты имеют светимости такие же, какова светимость звезд, начавших покидать главную последовательность и смещаться вправо. Это соответствует замене водородного ядра звезды гелиевым.

Но между смещенным концом главной последовательности и звездами-гигантами виден перерыв, пробел. Он называется пробелом Герцшпрунга, впервые его заметившим. Этот перерыв велик у молодых рассеянных скоплений с горячими звездами и тем меньше, чем рассеянное скопление старее и чем холоднее и слабее его самые яркие звезды. Это объясняется тем, что массивные яркие звезды быстро переходят в состояние красных гигантов и застать их поэтому в промежуточном состоянии трудно. Мало массивные звезды переходят в это состояние медленнее и для них пробел Герцшпрунга сокращается. У шарового скопления M 3 этого пробела нет совсем. Отклонение от главной последовательности для M 3 происходит уже у звезд, имеющих абсолютную звездную величину $+4^m$, т. е. лишь вдвое более ярких, чем наше Солнце.

Различие начального химического состава сказывается в следующем. Диаграммы Г — Р у шарового скопления M 3 и очень старого рассеянного скопления M 67 очень сходны и возраст их близок, так как главные последовательности их кончаются в одной

точке, около $M = +4^m$. Однако, в М 67 красные гиганты в 10 раз слабее, чем в М 3.

Количественный химический анализ по спектрам показывает, что звезды в гало (в ореоле или короне) Млечного Пути и шаровые скопления раз в 100—500 беднее металлами, чем звезды, образующие диск Галактики. Это делает их атмосферы более прозрачными. Их излучение приходит к нам поэтому из более глубоких и горячих слоев и они белее и ярче, чем звезды, более богатые металлами, находящиеся в той же области диаграммы Г — Р.

Итак, оказывается, что рассеянные скопления и звезды, подобные находящимся в них, непрерывно образовывались в течение 10 млрд. лет, тогда как шаровые скопления и звезды галактической короны все возникли раньше, более 10 млрд. лет назад. (Некоторые оценивают их возраст даже в $10^{11}$—$10^{13}$ лет.)

Такая связь между возрастом звезд и их положением в Галактике показывает, что когда Галактика была молода, звезды возникали во всем ее сферическом объеме и так же был распределен газ, из которого они сконденсировались. В дальнейшем вращение Галактики сплющивало массу находящегося в ней газа; он оседал к галактической плоскости, превращаясь в диск, и в нем продолжалось формирование звезд, тогда как в ореоле Галактики им стало уже не из чего образовываться.

Галактика до возникновения в ней звезд была газовой и содержала почти исключительно водород. Более тяжелые элементы могли возникнуть только в процессе ядерных реакций в недрах звезд и конвекцией выносились в их внешние слои. Выброс газов с их поверхности, особенно при катастрофических вспышках, обогащал галактические газы тяжелыми элементами. Поэтому звезды, возникшие позднее в диске, содержат больше тяжелых металлов.

Теперь легче понять диаграмму Г — Р наиболее молодых скоплений, таких как М 16 (иначе NGC 6611), с возрастом всего лишь 200 000 лет, которые моложе, чем человечество! (Последнее возникло около 1 500 000 лет назад.) На главной последователь-

ности этого скопления лежат горячие звезды, классов примерно от A0 до O5, а более слабые и холодные находятся правее, выше нулевой главной последовательности. Но это очень молодые звезды, еще продолжающие гравитационное сжатие. По последней теории японского астронома Хаяши можно вычислить время, необходимое звезде, чтобы она могла при данной массе, сжимаясь, дойти до радиуса и светимости, соответствующих данной последовательности. Среди таких молодых звезд много переменных типа RW Возничего и звезд с яркими линиями в спектре. Эти факты рассматриваются как признаки неустойчивости, проявляющейся при гравитационном сжатии.

После достижения звездами стадии красных гигантов, когда в их ядре идет выгорание гелия, звезды переходят на диаграмме опять налево, образуя более пологую последовательность. По новым расчетам Кипенхана это движение их сложно, с временными возвращениями по диаграмме назад; звезды эволюционируют с различной скоростью на разных участках этого пути. В некоторых областях они при этом на время становятся пульсирующими звездами — цефеидами разных периодов. Более массивные, бывшие когда-то яркими звездами спектрального класса B, становятся долгопериодическими цефеидами большой светимости, а менее массивные становятся короткопериодическими цефеидами, особенно характерными для некоторых шаровых скоплений, и имеют периоды короче суток. Их светимость меньше. Наблюдался случай, когда переменность цефеиды почти сразу прекратилась. Цефеиды заполняют пробелы на диаграмме Г — Р, где нет обычных звезд. Это зоны неустойчивости в эволюции звезд.

Еще не все на диаграмме Г — Р ясно; требуются дополнительные наблюдения и расчеты. В частности, неуверенность есть в более поздних путях эволюции звезд. Предполагают, что, исчерпав весь гелий, звезда быстро сжимается — в этой фазе эволюции звезду трудно найти. Она не имеет уже источников энергии и превращается в крайне плотный белый карлик. Белый карлик расходует так мало энергии, что в

этом состоянии может прожить много миллиардов лет и является, как шутят ученые, «горячим трупом». Неясно, может ли звезда уплотниться больше, чем белый карлик. Некоторые допускают, что он может превратиться в нейтронную звезду.

Но судьба превратиться в белого карлика возможна лишь для звезд с массой, меньшей чем 1,4 массы Солнца. При большей массе белый карлик неустойчив и, может быть, взрывается, как сверхновая звезда, что было бы концом более массивных звезд. А может быть, они неоднократно взрываются, как новые звезды, и, сбрасывая этим излишек массы, тоже превращаются в белые карлики.

Заметим, что мы не знаем пока ни одной «потухшей» звезды. Самые холодные из известных, инфракрасные звезды, не могут быть угасающими звездами. По всем признакам они еще будут разогреваться.

Из всего сказанного нами выше уже ясны современные представления о возникновении галактик. Вероятно, раньше Метагалактика являлась огромнейшим уплотненным облаком водорода, в котором одновременно шел распад на меньшие облака и их взаимное удаление со скоростью, убывающей по мере удаления. Неоднородности в облаках вели к гравитационной конденсации газа в звезды внутри сферических объемов. Так возникали эллиптические галактики. Их звезды теперь стары и бедны металлами. При наличии более быстрого вращения газовая масса, обогащаемая тяжелыми элементами, поступающими из старых звезд, сплющивалась. Возникали сжатые галактики с их диском, в котором рождались звезды более молодые и более богатые металлами. Вероятно, не без участия магнитного поля газ в диске концентрировался вдоль спиральных ветвей, выходящих из ядра, где процесс звездообразования шел наиболее интенсивно и где он продолжается и сейчас тем заметнее, чем там больше осталось газа. Таковы спирали «поздних типов» и неправильные галактики. В последних, как в Большом Магеллановом Облаке, есть молодые шаровые скопления, у которых диаграмма Г — Р более похожа на диаграммы рассеян-

ных скоплений. Старые рассеянные скопления нашей Галактики с диаграммами, похожими на диаграммы старых шаровых скоплений, находятся далеко от плоскости Галактики. Там они меньше разрушались под действием притяжения проходящих звезд и, имея сами много звезд, были более устойчивы. Их звезды, расходясь, пополняют звездное население диска, а выбросы газов звездами дают материал для все нового, но уже замирающего звездообразования. Многое в картине развития миров нам еще не ясно.

Все сказанное рисует нам теперь, хотя и без подробностей, картину образования миров, своеобразный круговорот, в котором участвуют и газы, и метеориты, и звезды; одни миры в бесконечной Вселенной зарождаются, другие гибнут, давая материал для нового цикла грандиозных изменений в природе.

При этом развитие и круговорот, конечно, не представляют собой бесконечное повторение пройденного. В соответствии с ленинским учением мы можем представлять себе это вечное развитие и круговорот материи подобным движению по спирали. Но это развитие, как мы должны также помнить, происходит диалектически, в борьбе противоречий, нередко скачками.

Человеческое знание за срок, ничтожно короткий в сравнении с циклами развития мировых тел, проникло в тайны их строения и развития. Мы можем сказать словами поэта:

«Наши очи малы,
Но безбрежность мира
Меряют собою
И в себе вмещают...»

(Н. Щербина)



ГЛАВА 12



# ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

## КОСМОГОНИЯ ПО ЛАПЛАСУ

Рождение Земли... Дела давно минувших дней и не найти преданий старины глубокой...

Некому рассказать о них, если не считаться с теми легендами о сотворении мира, которые складывали в древности. Прошлое земной коры хранит в себе она сама, и мы научились расспрашивать ее об этом. Радиоактивные породы в ней разоблачили нам свой возраст — время, протекшее с момента их затвердевания, но что было раньше?

Знать прошлое Земли практически важно для понимания строения и изменения ее недр, а последнее важно при поисках полезных ископаемых и для возможности предвидеть землетрясения.

При установлении истории развития многолетних организмов мы можем сопоставлять разные экземпляры их. Дубы и дубочки, сгнившие деревья говорят нам о жизненном пути вековых деревьев, из которых ни одно не завершает его целиком на наших глазах. Можно сравнивать друг с другом планеты в их современном состоянии и пытаться судить по ним об эволюции Земли. Но нашу Солнечную систему нам сравнивать не с чем, ибо других, подобных ей, мы не знаем, хотя и уверены, что они должны быть. Солнечная система известна нам только в одном экземпляре.

Философ Кант в середине XVIII века четко высказал идею об эволюции мировых тел и, опередив уче-

ных-астрономов, набросал мыслимую картину возникновения Солнечной системы из обширной туманности *). Он рисовал ее в соответствии с тем, что тогда было известно науке о строении Солнечной системы, планет и туманностей, о законах природы.

Кант смело отверг идею творения и нарисовал развитие миров происходящим в силу естественных законов природы. «Первая брешь в этом окаменелом воззрении на природу была пробита не естествоиспытателем, а философом. В 1755 г. появилась «Всеобщая естественная история и теория неба» *Канта*. Вопрос о первом толчке был устранен; земля и вся Солнечная система предстали как нечто *ставшее* во времени». (Ф. Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1948, стр. 10.)

Независимо от Канта математик, механик и астроном Лаплас разработал подобную же картину происхождения Солнечной системы. Его рассуждения были строже и научнее. Мировоззренческое значение этих работ Канта и Лапласа было очень велико. Современники были потрясены величественной картиной мироздания, развернутой Лапласом.

Эти работы, а также разработка идеи эволюции, в частности в области геологии, великим русским ученым М. В. Ломоносовым способствовали тому, что позднее ученые и других областей науки убедились в существовании развития в природе. Понятие об эволюции постепенно вошло и в другие науки.

Лаплас, как и Кант, правильно подметил основные, известные в то время характерные черты Солнечной системы, которые должна объяснить теория их происхождения. Эти черты следующие:

1. Подавляющая часть массы системы ($^{749}/_{750}$) сосредоточена в Солнце.

2. Планеты обращаются по почти круговым орбитам и почти в одной и той же плоскости.

3. Все планеты обращаются в одну и ту же сторону; в ту же сторону обращаются вокруг планет их

*) Кант — немецкий философ-идеалист — в этой ранней своей работе выступает с прогрессивной теорией.

спутники и сами планеты вращаются вокруг своей оси.

Древним грекам и создателям библии начальный мир представлялся хаотическим облаком мелких частиц, о котором древнеримский поэт Овидий сказал:

«Прежде земля и вода и небесные чудные своды,
Вся отовсюду природа была одинакова видом.
И называлась хаосом,— как дикая грубая масса...»

Но во времена Лапласа уже отдавали себе отчет в том, что из совершенно хаотического движения частиц правильное вращение возникнуть не может, вопреки предположению Канта. Поэтому Лаплас начинает рассмотрение развития Солнечной системы с гигантской газовой туманности, уже вращающейся вокруг своей оси, хотя и очень медленно.

Она вращалась как твердое тело и в центре имела сгусток — «зародыш» будущего Солнца. Притяжение к центру частиц туманности, простиравшейся сначала за орбиту наиболее далекой из планет, заставляло ее сжиматься. Уменьшение размеров по законам механики должно было вести к ускорению вращения. Наступал момент, когда на экваторе туманности, где линейные скорости частиц при вращении больше всего, центробежная сила уравнивалась с тяготением к центру. В этот момент вдоль экватора туманности отслаивалось газовое кольцо, вращавшееся в ту же сторону, в какую вращалась туманность. Продолжавшееся сжатие и ускорение вращения приводили к отслоению кольца за кольцом. В силу неизбежной неоднородности каждого кольца какой-либо сгусток в нем притягивал к себе остальное вещество кольца, и образовывался один газовый клубок — будущая планета. Наружные части кольца, а впоследствии сгустка, при обращении забегали как бы вперед и приводили его во вращение вокруг оси в ту же сторону, куда двигался зародыш планеты.

При сжатии сгустков вследствие тяготения они сами могли отслаивать кольца и порождать себе спутников. Если же в подобном кольце не было резко преобладающего сгустка, «пожирающего» остальные, то оно разбивалось на множество мелких тел; так,

например, образовалось кольцо Сатурна. Охлаждаясь, газовые сгустки затвердели, покрылись корой и превратились в современные планеты, а центральный сгусток породил Солнце.

Подкупающей простоте и логичности этой схемы (бывшей общепризнанной более столетия) были впоследствии противопоставлены серьезнейшие возражения. Выяснились, например, следующие обстоятельства, неизвестные во времена Лапласа:

1. Плотность воображаемой газовой туманности Лапласа должна была быть так мала, что она не могла бы вращаться, как твердое тело.

2. Отрыв вещества происходил бы не кольцами, а непрерывно.

3. Кольца с массой, равной массе планет, не могли бы сгуститься, а рассеялись бы в пространство.

4. Существуют планеты и спутники, вращающиеся или обращающиеся навстречу обращению планет около Солнца.

5. Один из спутников Марса обращается вокруг планеты быстрее, чем вращается сам Марс, чего не может быть по теории Лапласа.

Возник ряд и других теоретических возражений против теории Лапласа.

Многие пытались подправить эту теорию, но безуспешно. Наука лучше познала свойства Солнечной системы и законы природы — пришлось искать новое объяснение происхождению этой системы.

В 1919 г. английский астрофизик Джинс выдвинул предположение, что Солнечная система — игра редкого случая сближения Солнца с какой-либо звездой.

Пройдя в далеком прошлом близко от Солнца и снова исчезнув в безвестной дали, пришлая звезда возбудила на Солнце мощную приливную волну. Притягиваемое ею вещество вырвалось из Солнца и потянулось к звезде длинной струей, в форме сигары. Солнце уже тогда состояло из плотных газов, так что, когда выброшенная струя распалась на куски, то они, будучи плотными, не рассеялись, а охладились и, застыв, образовали планеты. Встреча двух

звезд на близком расстоянии, требуемая теорией Джинса, как мы уже видели и раньше, может произойти лишь чрезвычайно редко. Миллионы звезд возникнут и потухнут, ни разу не испытав такой встречи, и потому системы, подобные Солнечной, должны быть так же редки, как редки рождения людей с двумя головами. Как указал американский астроном Рессел, бо́льшая часть вещества, исторгнутого из Солнца, либо упала бы на него обратно, либо увлеклась бы вслед за набедокурившей и удравшей звездой, но не образовала бы ничего похожего на существующую систему планет.

В области космогонии все время велась и ведется упорная идеологическая борьба, так как здесь особенно резко сказывается мировоззрение ученых. Нерешенные вопросы науки используются реакционерами для попыток прямого или косвенного обоснования религии, для попыток борьбы с распространением материалистической философии, с марксизмом-ленинизмом.

Кант и Лаплас выдвинули прогрессивные гипотезы на материалистической основе. Но в XIX и XX веках, когда прямой возврат к библейской легенде творения мира был уже невозможен, ученые из лагеря реакции выдвигали гипотезы, пытавшиеся примирить науку с религией. Такой была, например, гипотеза Фая.

Для материалиста нет сомнения в познаваемости мира, хотя это познание должно быть длительным процессом постепенного приближения к истине.

В настоящее время ведется интенсивная работа по выяснению тех путей, по которым могла возникнуть и развиться Солнечная система.

Современные гипотезы о происхождении Солнечной системы не могут считаться с одними лишь механическими характеристиками Солнечной системы. Они должны учитывать и многочисленные физические данные о строении планет и Солнца, что особенно убедительно было показано в работах акад. В. Г. Фесенкова, разрабатывавшего вопросы космогонии в течение 35 лет.

### ТЕОРИЯ АКАДЕМИКА О. Ю. ШМИДТА

Теория, основы которой были заложены академиком О. Ю. Шмидтом, является наиболее разработанной. Поэтому мы ее и приводим.

О. Ю. Шмидт исходил сначала из того, что метеоритное вещество как в форме более или менее крупных кусков, так и в форме пыли в изобилии встречается во Вселенной. Еще недавно это метеоритное вещество было известно нам только в пределах Солнечной системы, но теперь мы обнаруживаем его в огромных количествах и в межзвездном пространстве. Большей частью метеоритное вещество собрано в колоссальные космические облака — в диффузные светлые и темные туманности, содержащие также много газа.

Впоследствии различные соображения привели советских ученых Л. Э. Гуревича и А. И. Лебединского к выводу, что допланетное вещество было газово-пылевого состава. О. Ю. Шмидт согласился с таким представлением о состоянии допланетного вещества, но подчеркивал, что «ведущая роль» принадлежала пыли.

Совокупность газово-пылевых облаков вместе со звездами заполняет нашу звездную систему — Галактику, причем их вещество сильно концентрируется к плоскости ее симметрии — к плоскости экватора Галактики. Вместе со звездами газово-пылевые облака участвуют во вращении Галактики вокруг оси. Наряду с этим вращением вокруг центра Галактики и звезды, и газово-пылевые облака имеют свои собственные движения, которые приводят к тому, что и звезды и облака то сближаются друг с другом, то расходятся. Иногда та или другая звезда погружается на время в газово-пылевую туманность и прокладывает в ней себе дорогу, как путник, попавший в густой туман. Как туман путнику, так и газово-пылевое облако — не препятствие для движения звезды; сбиваться же ей с пути не приходится, так как ее путь в туманности направляется все тем же законом тяготения.

Многие пылинки упадут на звезду в течение ее скольжения сквозь туманность, а другие, изменив свои орбиты вследствие мощного притяжения звезды, могут быть ею захвачены в плен и сделаются ее спут-

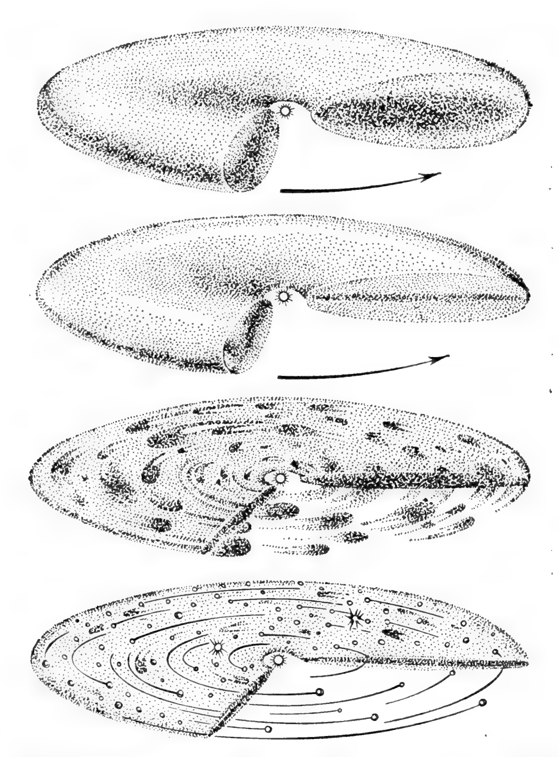


Рис. 196. Первый этап эволюции по гипотезе О. Ю. Шмидта: уплощение пылевой компоненты протопланетного облака и образование из него множества промежуточных (астероидных) тел.

никами. Однако, чтобы такой захват произошел, необходимо наличие особых благоприятных условий — уменьшение относительной скорости пылинок благодаря притяжению близкой звездой или, как показал Т. А. Агекян, благодаря столкновению пылинок друг с другом. В подобном «удачном» случае огромное

множество этих «благоприобретенных» спутников звезды, эта ее бесчисленная верная свита, по гипотезе Шмидта, не покидает ее и после выхода из туманности. Звезда оказывается окруженной огромным облаком частиц газа и пыли, описывающих вокруг нее различные орбиты. Позднее О. Ю. Шмидт считал, что более вероятным, мог быть захват облака из той самой диффузной среды, из которой возникло само Солнце.

Облако, образовавшееся вокруг звезд, постепенно приобретало линзообразную форму. Обращение частичек в нем вокруг звезды происходило преимущественно, хотя и не исключительно, в одном какомлибо направлении (под небольшими углами друг к другу), потому что пылевой слой, пронизанный звездой, не мог быть совершенно однородным.

В подобной звезде, окруженной линзообразным газово-пылевым облаком, О. Ю. Шмидт видел наше Солнце, в пору, предшествовавшую образованию планет.

Конечно, не одно наше Солнце могло испытать такую встречу с газово-пылевой туманностью. Множество звезд, быть может большинство, должны были пережить такое же приключение, а другим оно еще предстоит в будущем. Тем лучше, значит, кроме нашей Солнечной системы, в Галактике должно быть еще множество планетных систем. Этот неизбежный вывод из новой теории дает ей преимущество по сравнению со многими другими космогоническими гипотезами, в которых возникновение солнечных систем было редким явлением.

В сонме пылинок, обращающихся около Солнца по пересекающимся и различно вытянутым и наклоненным орбитам, неизбежно происходили столкновения и это вело к тому, что движения их осреднялись, приближались к круговым и лежащим в близких друг к другу плоскостях. От этого вокруг Солнца возник из облака газово-пылевой диск, становившийся все тоньше, но зато плотнее. Этот плотный слой частиц в частях, близких к Солнцу, поглощал его тепло. Поэтому дальше от Солнца внутри диска было очень хо-

лодно, и газы там намерзали на пылинках. Это объясняет, почему далекие от Солнца планеты богаче газом, чем близкие к нему. Это представление, как и теорию эволюции облака, развили Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский, и О. Ю. Шмидт нашел, что их картина эволюции облака вероятнее чем та, которая ему самому рисовалась раньше. Разработанная математически картина эволюции облака, хотя и содержащая ряд дополнительных гипотез, может быть названа теорией, лежащей в рамках гипотезы Шмидта. Основной же гипотезой Шмидта является предположение, что планеты возникли из холодного облака частиц, причем основную роль в нем играло поведение твердых пылинок и предположение, что облако было захвачено Солнцем и притом, когда последнее уже вполне сформировалось.

Дальнейшая картина эволюции газово-пылевого диска вкратце представляется так. В уплотнившемся облаке возникали пылевые сгущения, в которых столкновения пылинок вели к их слиянию в твердые тела с поперечниками, как у современных астероидов. Множество их сталкивалось и дробилось, но более крупные из них, «зародыши» планет,— выживали и «всасывали» в себя окружающие осколки и остатки пыли, сначала присоединяя их при соударениях, а потом во все большей мере за счет притяжения их. Плотные зародыши планет окружались при этом роями тел и их обломков, обращающихся вокруг них и давших при своем объединении рождение спутникам планет по тому же «рецепту», по которому эти планеты возникли сами.

Из линзообразной формы туманности, окружающей Солнце, и из преобладания в ней движений, параллельных друг другу и направленных в одну и ту же сторону, вытекают сразу основные характерные особенности строения Солнечной системы: вращение всех планет около Солнца в одну и те же сторону, малые углы между плоскостями их орбит, а также почти круговая форма орбит.

О. Ю. Шмидт в одной из своих первых работ рассчитал, с какой скоростью происходил бы процесс

увеличения массы планеты за счет падения на нее метеоритов, если бы наблюдаемые сейчас в Солнечной системе метеориты были остатками того роя, который некогда окружал Солнце. Оказалось, что вначале рост планеты происходил бурно, а потом все медленнее и медленнее. Грубо говоря, на постройку Земли пошли все те «кирпичи» — тела астероидных размеров и их обломки, которые заполняли пространство между границами, лежащими посредине между орбитами Земли и Венеры и между орбитами Марса и Земли, ближе к последней.

Невозможно, конечно, определить, «когда был заложен первый камень» — фундамент будущей планеты, но теория Шмидта позволила подсчитать, за сколько времени масса Земли увеличилась вдвое и достигла своего современного значения. Это время «полуобразования», ввиду упомянутой быстроты роста планет, близко к тому, что можно назвать возрастом Земли. Во всяком случае, этот промежуток времени немногим меньше возраста Земли.

Полагая, что *сейчас* на Землю ежегодно падает более 1000 тонн метеоритного вещества, О. Ю. Шмидт нашел для *времени полуобразования* Земли около 7 млрд. лет. Этот результат близок (в астрономических масштабах) к *возрасту* земной коры — 3 млрд. лет, определенному по радиоактивности горных пород. Ясно, что возраст земной коры должен быть меньше возраста Земли в целом.

Поскольку, однако, современные метеориты в Солнечной системе, возможно, являются осколками планеты, находившейся между Марсом и Юпитером, а не остатками метеоритной туманности, этот подсчет теоретического возраста Земли носит лишь ориентировочный характер.

О. Ю. Шмидт предполагал, что от ударов метеоритов в процессе быстрого роста Земли, а главное вследствие выделения тепла при радиоактивных процессах внутри слипающихся метеоритов их вещество разогревалось настолько, что становилось пластичным. Для этого было бы уже вполне достаточно температуры порядка 1000°. При размягчении метеоритного

вещества более легкие каменные массы всплывали на поверхность, а тяжелые железистые массы постепенно опускались вниз. Так и создалось постепенно разделение массы Земли на плотное ядро и более легкую оболочку, причем до сих пор должна была бы сохраниться, и действительно еще сохранилась, промежуточная область, где тягучие железные и каменные массы не разделились вполне.

В настоящее время существует взгляд, что ядро Земли не железное, а силикатное, как и земная кора, но находящееся в сильно уплотненном металлоподобном состоянии под действием высокого давления вышележащих слоев. В слое, где давление составляет 1 400 000 атмосфер, эти свойства силикатных недр Земли возникают скачком. Если принять эту точку зрения, то надо думать, что подъем легких и опускание тяжелых веществ в толще Земли идет медленно и далеко еще не закончился.

Разогревание внутренних частей Земли еще продолжается и возникло в ее толще вследствие накопления тепла, выделяемого радиоактивным распадом внутри ее вещества.

Остатки метеоритного вещества, не вошедшего в состав планет, продолжали обращаться около Солнца и, проходя вблизи сформировавшихся планет, захватывались ими в плен. В образовавшемся вокруг планет сплюснутом метеоритном облаке шел процесс столкновения метеоритов, подобный тому, что создал планеты, и так вокруг них создались спутники. Естественно, что в общем более массивные планеты, производя больше захватов, могли обзавестись для компании большим числом спутников.

Поскольку большинство метеоритов, пошедших как кирпичи на постройку спутников, двигалось все в том же прямом направлении около Солнца и преимущественно вблизи плоскости эклиптики, то и орбиты спутников расположились вблизи этой плоскости. Направления их обращения оказались в согласии с теми движениями, которыми объединены все члены Солнечной системы. Только в редких случаях, когда в распределении скоростей или плотностей метеорного

роя появлялась большая асимметрия, возникали планеты и спутники с обратным вращением (Уран с его спутниками, спутник Нептуна и далекие спутники Юпитера и Сатурна).

Вращение планет вокруг своей оси, которое ни одна из прежних теорий не могла удовлетворительно объяснить, теория О. Ю. Шмидта объясняет так. Под влиянием падения метеоритов на планету она должна прийти во вращение, и притом именно в том же направлении, в каком она вращается вокруг Солнца. Если случайно в той области, где образовалась планета, метеориты с орбитами, мало вытянутыми и мало наклоненными к средней плоскости Солнечной системы, не были в достаточной мере преобладающими, могло возникнуть вращение планеты в обратном направлении, что и объясняет известный случай такого рода — вращение Урана.

В успешном объяснении направления вращения планет теорией О. Ю. Шмидта состоит ее большая заслуга.

Остановимся немного на вопросе, который, может быть, и не будет так интересен для читателя, как предыдущие, но который имеет огромное значение. Речь идет все о том же знаменательном моменте количества движения, который теория Джинса не могла объяснить.

Мы помним, что в Солнечной системе львиная доля момента количества движения (т. е. суммы произведений масс частиц на их скорости и на расстояния от центра вращения) приходится на планеты. На Солнце с его медленным вращением вокруг оси приходится очень малая доля общего момента.

О. Ю. Шмидт показал путем вычислений, что Солнце, если оно вначале не вращалось или вращалось еле-еле, должно было прийти во вращение под действием ударов падающих на него метеоритов.

О. Ю. Шмидту удалось получить из своей теории формулу, которая утверждает, что произведение

$$\frac{m^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{R} \cdot P}{r^2} = w$$

должно быть постоянным или почти постоянным для всех планет. В этом произведении $m$ означает массу планеты, $R$ — ее расстояние от Солнца, $r$ — ее радиус и $P$ — период ее вращения вокруг оси. Так это оказывается и на самом деле. Наибольшее уклонение от этого закона обнаруживают Юпитер и Сатурн. Но по ряду соображений мы уже и раньше были склонны думать, что видимый радиус этих планет, подставленный в эту формулу, не есть действительный радиус их твердой поверхности — это радиус видимой границы их обширной и плотной атмосферы. Чтобы получить величину $w$ для Юпитера, близкой к тому, что получается для планет типа Земли и Марса (не внушающих подобных подозрений), надо допустить, что у Юпитера средняя плотность та же, что у Земли, и что тогда сам он лишь в 6,8 раз больше Земли (по диаметру). Почти половину его видимого радиуса составляет в этом случае толщина его обширной непрозрачной атмосферы. Но почти в точности к такому же соотношению размеров планеты и ее атмосферы приходил раньше и Джефрейс, хотя его соображения были совершенно иные.

Что касается Меркурия и Венеры, то их первоначальное вращение к настоящему времени заторможено действием приливов, ибо приливное действие Солнца на эти ближайшие к нему планеты весьма велико.

Подобным же образом, но в меньшей степени, Луна и Солнце своим приливным воздействием затормозили суточное вращение Земли. Раньше Земля вращалась быстрее.

Слипание вместе метеоритов, двигавшихся по продолговатым эллипсам с различно расположенными большими полуосями, приведет после слияния их к движению по орбите, более близкой к окружности. Чем больше метеоритов слипается, т. е. чем больше разнообразие направлений больших полуосей их орбит, тем ближе будет к окружности орбита планеты. Действительно, орбиты крупных планет, Юпитера и Сатурна, менее продолговаты, чем орбиты Меркурия и Марса.

Но как распределяются планеты по своим расстояниям от Солнца? Ответ на этот вопрос, найденный О. Ю. Шмидтом, получился неожиданно простым. Оказывается, момент количества движения, рассчитанный на единицу массы планеты, будет возрастать в арифметической прогрессии при переходе от одной планеты к следующей. Для тел, движущихся по круговым орбитам, момент количества движения (на единицу массы) пропорционален корню квадратному из радиуса орбиты. Следовательно, корни квадратные из расстояний планет от Солнца ($\sqrt{R}$) должны возрастать в арифметической прогрессии.

Этот закон прекрасно согласуется с действительным распределением расстояний планет от Солнца, если только мы будем рассматривать отдельно группу планет, далеких от Солнца (от Юпитера до Плутона), и группу планет, близких к Солнцу (от Меркурия до Марса). Мы уже говорили, что часть метеоритов, находившихся в районе планет второй группы, упала на Солнце, и потому, рассматривая их расстояния от Солнца, нельзя объединять их с планетами, далекими от Солнца. Для планет, близких к Солнцу, $\sqrt{R}$ возрастает в среднем на 0,20 при переходе от одной планеты к следующей. Поэтому, взяв за исходное значение $\sqrt{R}$ его истинное значение для Меркурия, можно построить следующую табличку:

| | Меркурий | Венера | Земля | Марс |
|---|---|---|---|---|
| $\sqrt{R}$ | 0,62 | $0,62+0,20=$ $=0,82$ | $0,62+2\cdot0,20=$ $=1,02$ | $0,62+3\cdot0,20=$ $=1,22$ |
| $R_{\text{выч}}$ | 0,38 | 0,67 | 1,04 | 1,49 |
| $R_{\text{ист}}$ | 0,38 | 0,72 | 1,00 | 1,52 |

Первая строка показывает метод вычисления $\sqrt{R}$, вторая строка дает вычисленные значения расстояний

планет, а последняя строка — истинные расстояния. Согласие получается очень хорошим.

Для планет, далеких от Солнца, среднее возрастание $\sqrt{R}$ получается равным 1,00 и потому, беря за исходное значение $\sqrt{R}$ его истинное значение для Юпитера, получаем:

| | Юпитер | Сатурн | Уран | Нептун | Плутон |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sqrt{R}$ | 2,28 | 3,28 | 4,28 | 5,28 | 6,28 |
| $R_{выч}$ | 5,20 | 10,8 | 18,3 | 27,9 | 39,4 |
| $R_{ист}$ | 5,20 | 9,5 | 19,2 | 30,1 | 39,5 |

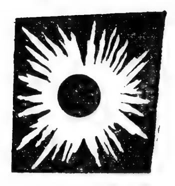
Согласие вычисленных и истинных расстояний получается прекрасным. Таким образом, О. Ю. Шмидту как будто удалось объяснить закон планетных расстояний, не получивший никакого теоретического обоснования в прежних космогонических теориях. Некоторые другие космогонические теории последнего времени также объясняют это явление, но иными путями.

Здесь мы дали представление лишь об одной из множества космогонических гипотез. Единого взгляда на процесс возникновения планет и спутников пока нет.



*Борис Александрович*
*Воронцов-Вельяминов*

**ОЧЕРКИ О ВСЕЛЕННОЙ**



М., 1976 г., 720 стр. с илл.

Редактор *С. С. Куликов*

Техн. редактор *С. Я. Шкляр*

Корректор *Е. Я. Строева*

Сдано в набор 25/VIII 1975 г.
Подписано к печати 17/II 1976 г.

Бумага 84×108¹/₃₂. Физ. печ. л. 22,5+цветн.

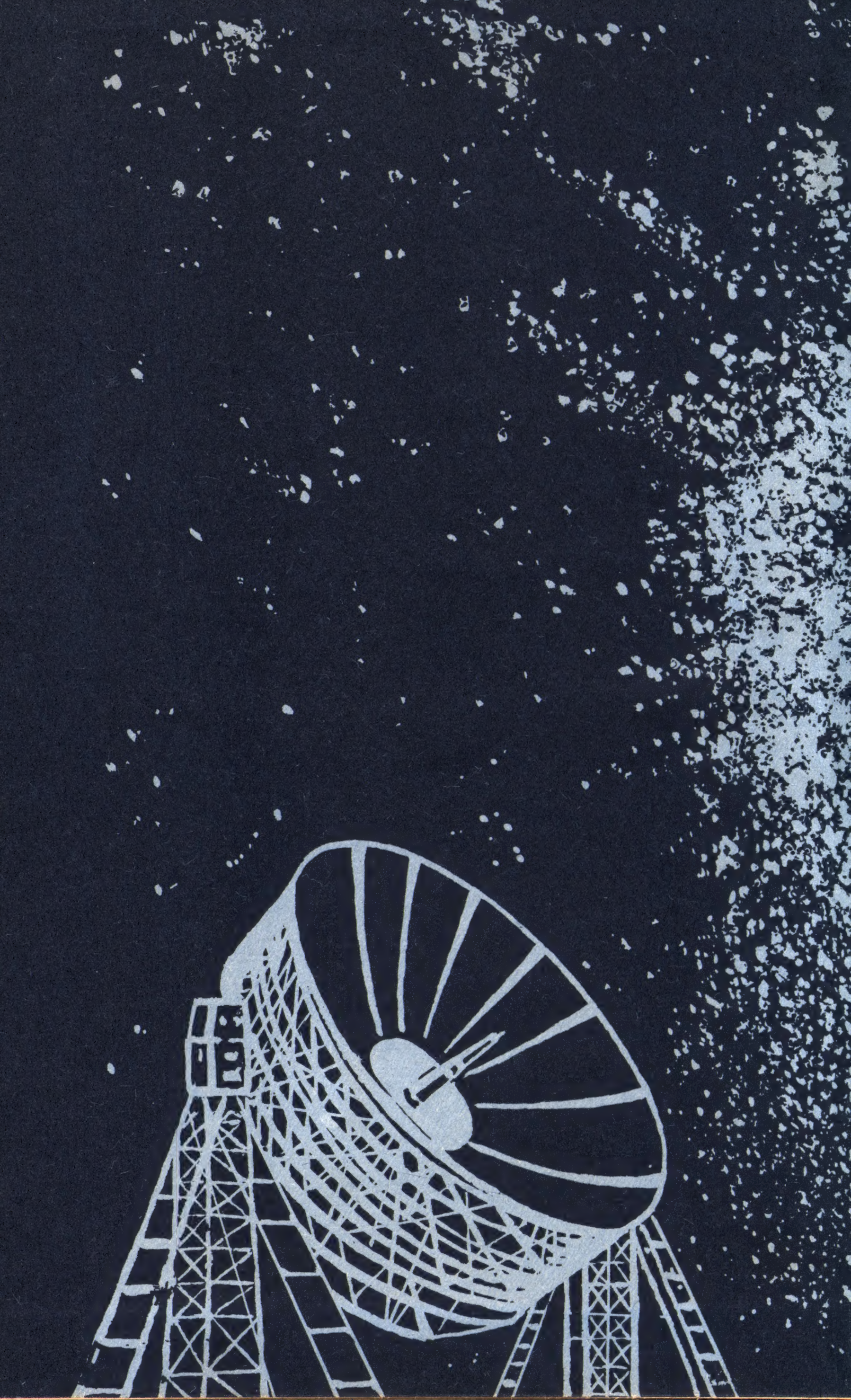
вкл. 0,25 п. л. Условн. печ. л. 38,22.

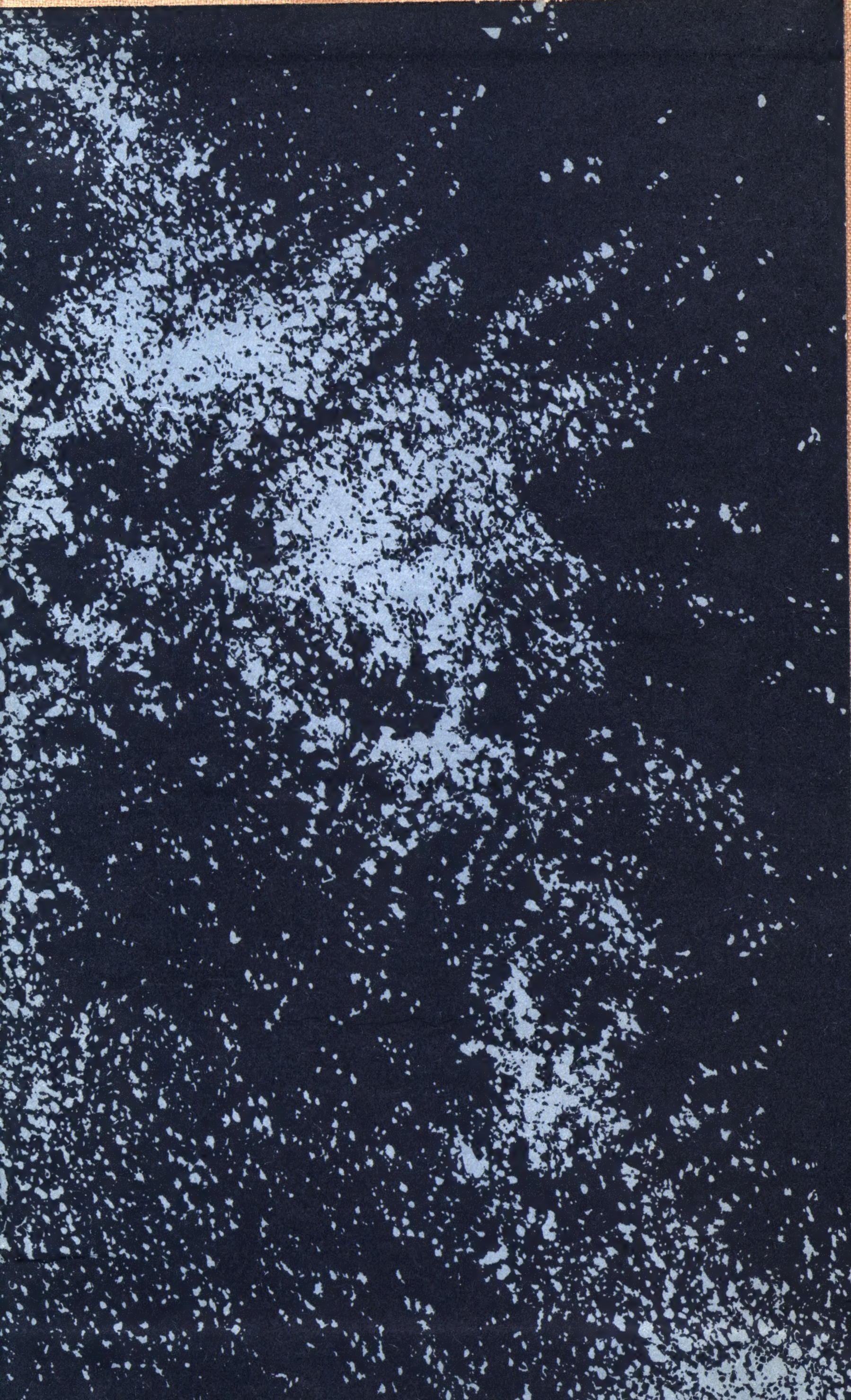
Уч.-изд. л. 38,10. Тираж 170 000 экз. Т-01894.

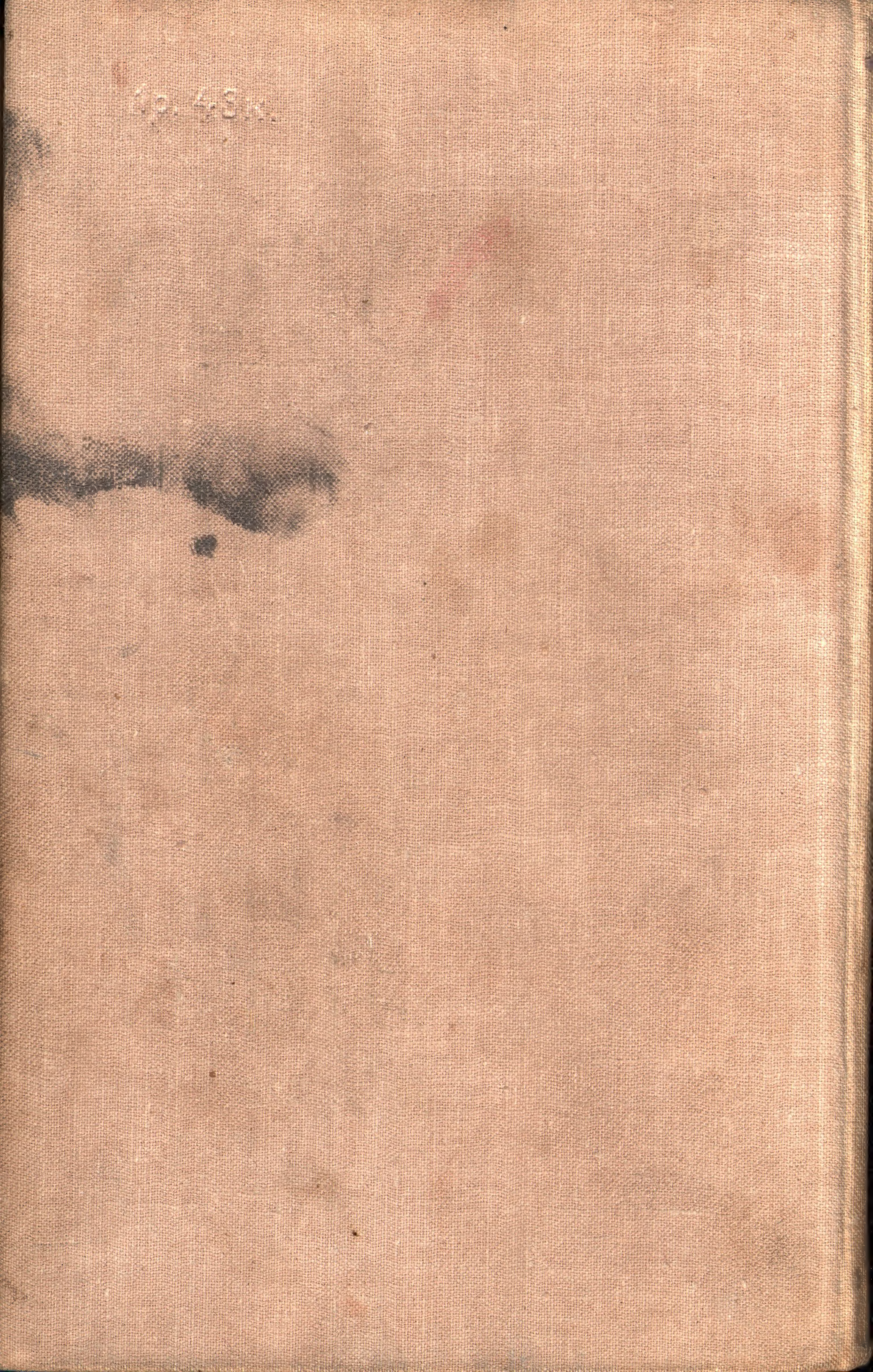
Цена книги 1 р. 43 к. Заказ № 3280.

Издательство «Наука»
Главная редакция
физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая Образцовая типография
имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома
при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-54, Валовая, 28






Ц. 48 к.

ОЧЕРКИ О ВСЕЛЕННОЙ • Б.А.ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ